

تأليف: كريستوف كوتش

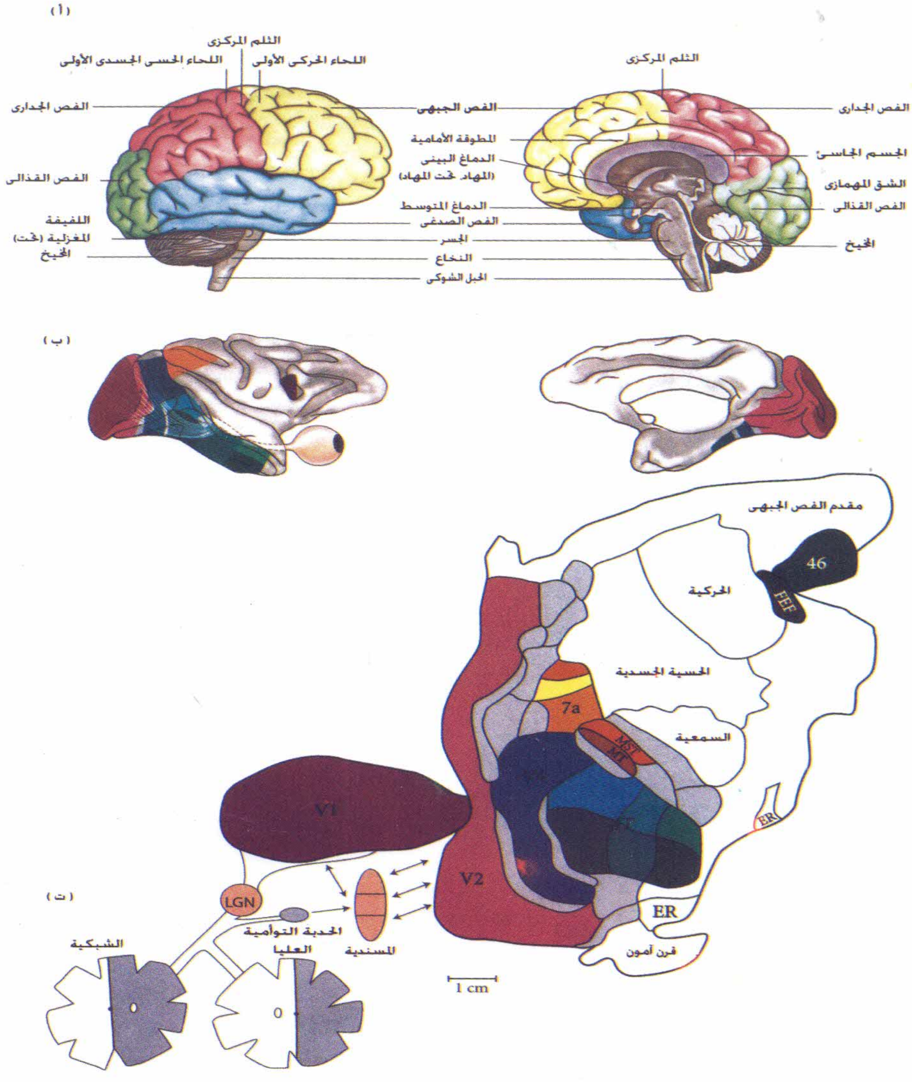
ترجمة: عبد المقصود عبد الكريم

البحث عن الوعي

مقاربة بيولوجية عصبية

المركز القومي للترجمة

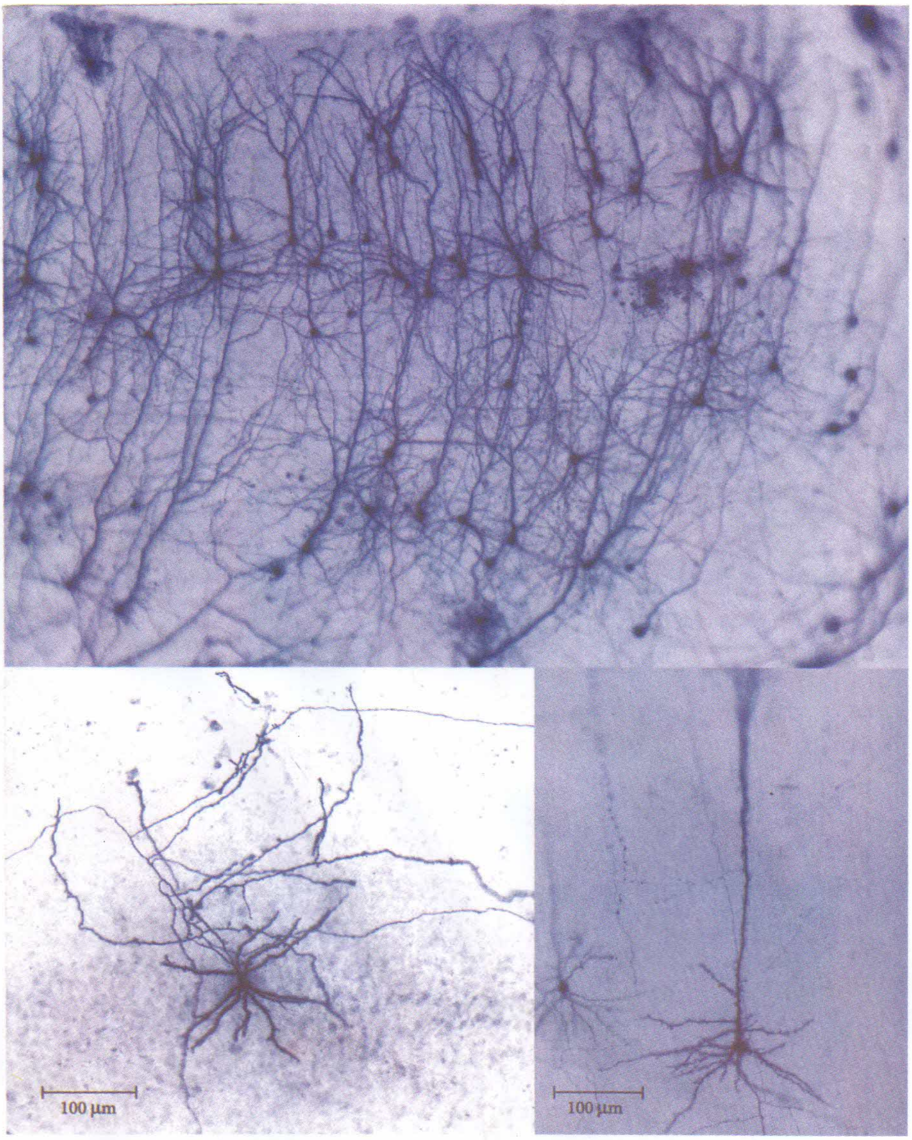
1888



(أ) منظر جانبى (إلى اليسار) ومتوسط (إلى اليمين) لدماغ الإنسان.

(ب) مشهدان متماثلان

(ج) خريطة توضيحية مسطحة لدماغ القرد الآسيوى. كل المناطق غير البيضاء متورطة فى المعالجة البصرية. دماغ الإنسان ودماغ القرد مرسومان بمقاييس مختلفة.



صور فوتوغرافية لقطاع من اللحاء البصرى الأولي للقرد، بصبغة نيسل Nissl. تم تمييز كل أجسام الخلايا. القطاع المستطيل مكبر فى القمة، وخمس خلايا عصبية مجددة (التفريعات الشجرية بالأحمر) وفوقها مُدْخَل محورى (إلى اليسار). عن E. Callaway، اتصال شخصى. للاطلاع على التفاصيل، انظر Blasdel and Lund, Yabuta, Sawatari and Callaway, 2001. Callaway and Wiser, 1996. 1983



هذا الكتاب موجه لكل المهتمين بمناظرة قديمة استعادتها اليوم مخيلة الفلاسفة والعلماء والمهندسين والأطباء والمفكرين عموماً. ما الوعى؟ كيف يتلاءم مع النظام الطبيعى للأشياء؟ ما فائدته؟ هل هو خاص بالبشر؟ لماذا يتخطى كثير من أفعالنا الوعى؟ تحدد الإجابات عن هذه الأسئلة صورة جديدة لما هو إنسانى. هذه الصورة، التى تنبثق ببطء حتى الآن، تناقض الكثير من الصور التقليدية التى كبرنا مغرمين بها. من يعرف إلى أين يأخذنا هذا البحث؟ معظم الأفكار التى يضمها الكتاب طورها فرنسيس كريك، مكتشف الدنا DNA، وكريستوف كوتش فى تعاون مستمر، كما توضح أبحاثهما المشتركة. ورغم بقاء المؤلف على حماسه، المكتسب فى الشباب، لبعض الفلاسفة الإغريق والألمان- أفلاطون وشوبنهور ونيتشه وفيتجنشتاين الابن- فإنه يكافح ليجعل أسلوبه فى الكتابة يتبع تقاليد الوضوح الأنجلوسكسونى، أى التعبير ببساطة قدر المستطاع. ويحاول أن يكون واضحاً فى التمييز بين المعروف وما هو مجرد تأمل.

تصميم الغلاف: حسين جبيل

البحث عن الوعى

مقاربة بيولوجية عصبية

المركز القومى للترجمة
إشراف: جابر عصفور

- العدد: 1888
- البحث عن الوعى: مقاربة بيولوجية عصبية
- كريستوف كوتش
- عبد المقصود عبد الكريم
- الطبعة الأولى 2013

هذه ترجمة كتاب:

THE QUEST FOR CONSCIOUSNESS: A Neurobiological Approach

By: Christof Koch

شارع الجبلاية بالأوبرا- الجزيرة- القاهرة. ت: ٢٧٣٥٤٥٢٤ فاكس: ٢٧٣٥٤٥٥٤

El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo.

E-mail: egyptcouncil@yahoo.com Tel: 27354524 Fax: 27354554

البحث عن الوعى

مقاربة بيولوجية عصبية

تأليف: كريستوف كوتش

ترجمة: عبد المقصود عبد الكريم

2013

كونش، كريستوف.
البحث عن الوعى/ كريستوف كونش: ترجمة: عبد المقصود عبد الكريم. ـ القاهرة : الهيئة المصرية العامة للكتاب، ٢٠١٣.
٥٨٠ص: ٢٤سم.
تدمك ١ ٢١٥ ٤٤٨ ٩٧٧ ٩٧٨
١ ـ الشعور.
أ ـ عبد الكريم، عبد المقصود. (مترجم)
ب ـ العنوان.
رقم الإيداع بدار الكتب ٣٦٢٦/ ٢٠١٣
I. S. B. N 978 - 977 - 448 -215 - 1

المحتـويـات

تقـديم

بقلم فرنسيس كريك[١]

لا نعرف مقدما الأسئلة الصائبة التى علينا طرحها،
ولا نستطيع ذلك غالبا حتى نقترب من الإجابة.

من ستيفن وينبرج[٢]

يسعدنى أن أكتب مقدمة حرة لهذا الكتاب الاستثنائى الرائع. معظم الأفكار التى يضمها الكتاب طورتُها أنا وكريستوف فى تعاون مستمر، كما توضح أبحاثنا المشتركة، وقد ورطنى كريستوف فى الكثير من كتابته، رغم إن العمل الشاق، والأسلوب الحر السلس المعقول عمله وأسلوبه. وهكذا لن يكون تقييمى غير منحاز.

أوصى به بقوة الجمهور الرئيسى الموجه إليه، وهو، بتعبير ملتف، ليس مجرد علماء الأعصاب، بل العلماء المهتمين بالوعى من كل لون.

الوعى المشكلة الرئيسية العالقة فى البيولوجيا. يوضح كريستوف فى الفصل الأول عدم وجود اتفاق على الطبيعة العامة للحل. كيف ينبثق ما يسميه الفلاسفة "كوليا qualia"،[٣] احمرار الأحمر وألم الألم، من تناغم أفعال الخلايا العصبية، والخلايا الرابطة glial والجزيئات المتصلة بها؟ هل يمكن تفسير الكوليا بما نعرفه الآن من العلم الحديث، أم نحتاج تفسيرًا مختلفًا تماما؟ وكيف نتناول هذه المشكلة التى تبدو عسيرة؟

فى السنوات العشر الأخيرة ظهر طوفان عارم من الكتب والأبحاث عن الوعى. ومن قبل خنقت بشكل فعال المقاربةُ السلوكية، وبشكل يثير الدهشة، معظم المرحلة الأولى من العلوم المعرفية التى حلت مكانها، كلَّ المناقشات الجادة فى الموضوع تقريبًا.

ما المختلف فى هذا الكتاب؟ بدلا من طرح مناقشة أخرى، تجادل بشكل ضيق وعقيم إلى حد كبير، لجذر مشكلة العقل والجسد، تحاول استراتيجيتنا أولا العثور على ارتباطات عصبية للوعى neuronal correlates of consciousness (تسمى NCC غالبا). وبسبب تركيزنا على سلوك الخلايا العصبية، ركزنا أساسًا على مواضيع يمكن أن تُدرس فى القرد الآسيوى، ونضم عملا موازيا عن البشر.[٤] وهكذا لا تحظى اللغة والأحلام إلا باهتمام ضئيل أو لا تحظى بأى اهتمام. كيف ندرس أحلام القرود؟

وتجنبنا أيضًا بعض الأوجه الأكثر صعوبة فى الوعى، مثل الوعى الذاتى والانفعال، وركّزنا بدلا من ذلك على الإدراك، وخاصة الإدراك البصرى. وحاولنا مقاربة الإدراك البصرى على عدة مستويات، من علم النفس البصرى، وأشعات الدماغ، وفسيولوجيا الأعصاب وتشريح الأعصاب، إلى الخلايا العصبية، والمشابك synapses، والجزيئات.

ويشمل هذا هضم عدد هائل من الملاحظات التجريبية، يتبين لا محالة أنها خطأ أو مضللة، ونختبر فى الوقت ذاته فرضيات نظرية. ومن النادر أن تكون هذه الأفكار جديدة، لكن الجمع بينها قد يكون جديداً.

وهكذا تركز بالضرورة أجزاء من هذا الكتاب على "الحقائق". ويصح هذا خاصة فى الفصول التى تتناول تفاصيل الجهاز البصرى للقرد الآسيوى، لكن كريستوف يضع ملخصًا فى نهاية كل فصل (باستثناء الفصل التاسع عشر، وهو خلاصة لمعظم الكتاب)، وهكذا يمكن للقارئ، فى الدورة الأولى، تجاوز بعض التفاصيل.

ثمة خاصية استثنائية أخرى وهو أن من المبهج قراءة كتاب يحتوى هذا القدر الكبير من الحقائق. تبهر القارئَ سلاسةُ أسلوب كريستوف، وهو ما قد يدينه

محررو المجلات العلمية. وينقل أيضا شيئا عن خلفية كريستوف وذوقه، من حبه للكلاب إلى حبه الكاثوليكى جدا للموسيقى، مع فقرات مقتبسة من أرسطو إلى وودى ألن، ومن لويس كارول إلى ريتشارد فينمان وبرتى ووستر(٥).

مع سهولة قراءته، قدم كريستوف، فى هوامش وإشارات تقليدية، دليلا لمسح واسع وأبحاث أساسية، بحيث يمكن للقارئ المهتم أن يبدأ استكشاف الأدبيات الشاملة الحقيقية عن كل المواضيع ذات الصلة تقريبا.

يحتاج حل مشكلة الوعى جهود علماء كثيرين، فى مجالات كثيرة، مع إمكانية أن توجد دائما بضع بصائر وملاحظات أساسية. الكتاب مصممٌ مقدمةً للعلماء، وخاصة الأصغر، على أمل أن يقودهم للمساهمة فى هذا الحقل. منذ بضع سنوات لم يكن المرء يستطيع استخدام كلمة "الوعى" فى بحث، مثلا، عن "الطبيعة" أو "العلم"، أو فى تطبيق مسلم به. لكن لحسن الحظ، يتغير الزمن، والموضوع الآن ناضج لاستكشاف مكثف. واصل القراءة!

الهوامش:

(١) فرنسيس كريك Crick (١٩١٦ ـ ٢٠٠٤): عالم بريطانى، أحد عالمين اكتشفا تركيب جزىء الدنا DNA مع جيمس واطسون. حصل على نوبل مشاركة عام ١٩٦٢ (المترجم).

(٢) ستيفن وينبرج Weinberg (١٩٣٣ ـ) : فيزيائى أمريكى حصل على جائزة نوبل فى الفيزياء مشاركة مع عالمين آخرين سنة ١٩٧٩ (المترجم).

(٣) كوليا qualia: كلمة لاتينية يستخدمها الفلاسفة لوصف الطابع الذاتى لخبرة الوعى، انظر المصطلحات فى نهاية الكتاب (المترجم).

(٤) القرد الآسيوى macaque monkey: جنس من القرود يضم ٢٢ نوعًا، وينتشر من اليابان إلى أفغانستان وينتشر نوع منه فى شمال أفريقيا (المترجم).

(٥) وودى ألن Allen (١٩٣٥ ـ): ممثل كوميدى أمريكى وكاتب. لويس كارول Carroll (١٨٣٢ ـ ١٨٩٨): رياضى وكاتب بريطانى، من أشهر أعماله "أليس فى بلاد العجائب" (١٨٦٥). زيتشارد فينمان Feynman (١٩١٨ ـ ١٩٨٨): فيزيائى أمريكى، حصل على نوبل ١٩٦٥. برتى ووستر Wooster: شخصية قصصية متكررة فى روايات الكاتب البريطانى ودهاوس P.G. Wodehouse (١٨٨١ ـ ١٩٧٥) (المترجم).

تصـديـر

"يجب أن نعرف وسوف نعرف"

نقش على ضريح ديفيد هيلبرت، عالم رياضيات ألمانى.(١)

تناولتُ أسبرين بالفعل، واستمر ألم الأسنان. مستلقيا فى السرير، لم أستطع النوم بسبب نبح ضرس فى فكى السفلى. محاولا نزع نفسى من هذا الإحساس المؤلم، تأملت سبب الوجع. عرفتُ أن التهابا فى لب السن يرسل نشاطا كهربيا إلى أحد أفرع العصب الخامس الذى ينتهى فى جذع الدماغ. بعد المرور فى مزيد من مراحل التحول، تولَّد الألم فى النهاية نتيجة نشاط خلايا عصبية عميقة فى مقدم الدماغ forebrain(٢). لكن لا شىء من هذا فسر ما جعله بهذا الشكل! كيف للصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم وأيونات أخرى أن تخوض فى دماغى مسببة إحساسًا بشعًا؟ شغلنى هذا التجلى العادى لجلال مشكلة العقل والجسد من صيف ١٩٨٨ حتى اليوم.

يمكن التعبير عن معضلة العقل الجسد ببراعة بالسؤال: "كيف يشعر جهاز فيزيائى، مثل الدماغ، بشىء؟ على سبيل المثال، إذا سخن حقا مؤشر حرارة متصل بجهاز كمبيوتر ساخنا، فربما يضىء المشغِّل ضوءا أحمر تحذيريا، لكن لا أحد يمكن أن يدعى أن تدفق الإلكترونات على بوابة الترانزيستور الذى يغلق مفتاح الضوء يجعل الآلة تقضى يومًا سيئًا. كيف يؤدى إذن هذا النشاط العصبى

إلى الإحساس بألم حارق؟ هل هناك شىء سحرى فى الدماغ؟ هل له علاقة بمعماره، أم بنوع الخلايا العصبية المتورطة فى الأمر، أم بأنماط النشاط الإلكترونى الكيميائى المرتبط به؟

ويصبح الأمر أكثر غموضا بإدراك أن الكثير مما يحدث، إن لم يكن معظمه، داخل جمجمتى لا يمكن التوصل إليه بالتأمل الباطنى. إن معظم أفعالى اليومية- ربط الحذاء، قيادة السيارة، الجرى، التسلق، المحادثة البسيطة- تحدث تلقائيا، وعقلى مشغول بأمور أكثر أهمية. كيف تختلف هذه السلوكيات عصبيا عن تلك التى تؤدى إلى أحاسيس واعية؟

أبحث، فى هذا الكتاب، عن إجابات لهذه الأسئلة فى إطار علم الأعصاب. أدافع عن برنامج بحثى هدفه الأسمى اكتشاف الارتباطات العصبية للوعى. وهى أصغر مجموعة من آليات الدماغ والأحداث الكافية لإحساس شعورى معين، أولى مثل اللون الأحمر أو معقد مثل الشعور الحسى الغامض والبدائى الذى ينبثق عند التطلع إلى مشهد أيكة على غلاف خارجى لكتاب. إن تحديد الارتباطات العصبية للوعى من أكبر التحديات العلمية فى عصرنا.

للدخول فى صلب القضية، أحتاج إلى الاقتراب قدر المستطاع من النقطة الفاصلة، فى الفضاء الواقع بين الخبرة الجلية والمحتوى المادى للدماغ. وقد استُكشِفتْ هذه المناطق بأفضل صورة فى الإدراك البصرى، وهو ما يجعل هذا الكتاب يركز على الرؤية، وإن يكن غير قاصر عليها. أفحص بيانات التشريح وعلم وظائف الأعصاب وعلم النفس والبيانات الإكلينيكية ذات الصلة وأنسجها فى لوحة أكبر تشكل إطارًا جديدا للتفكير فى الأساس العصبى للوعى.

هذا الكتاب موجه لكل المهتمين بمناظرة قديمة استعادتها اليوم مخيلة الفلاسفة والعلماء والمهندسين والأطباء والمفكرين عمومًا. ما الوعى؟ كيف يتلاءم مع النظام الطبيعى للأشياء؟ ما فائدته؟ هل هو خاص بالبشر؟ لماذا يتخطى كثيرٌ من أفعالنا الوعى؟ تحدد إجابات هذه الأسئلة صورة جديدة لما هو إنسانى. هذه الصورة، التى تنبثق ببطء حتى الآن، تناقض الكثير من الصور التقليدية التى

كبرنا مغرمين بها. من يعرف إلى أين يأخذنا هذا البحث؟ كما كتب لورد دنسانى: "الإنسان ضئيل والليل كبير ومليء بالغرائب."(٣)

الأفكار التى نعبر عنها فى هذه الصفحات ثمار تعاون مكثف مع فرنسيس كريك فى معهد سوك Salk فى لاجولا، كاليفورنيا، شمال سان ديجو مباشرة(٤). التقينا أول مرة فى ١٩٨١ فى توبينجن فى ألمانيا،(٥) فى مناظرة مع توماسو بوجيو(٦) عن وظيفة أشواك التفريعات الشجرية. واستنبطت حين انتقلت بعد ذلك إلى معهد ماساشوسيتس Massachusetts للتكنولوجيا فى كمبريدج، مع شيمون أولمان،(٧) طرقا لتفسير الانتباه البصرى على أساس الشبكات العصبية الاصطناعية، قمت أنا وشيمون بزيارة فرنسيس لمدة أسبوع تبادلنا خلاله أفكارا مشجعة ومنشطة. زادت من سرعة خطى التفاعل بيننا حين أصبحتُ أستاذا فى معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا فى باسادينا، على بعد ساعتين بالسيارة من لاجولا.(٨)

التقى اهتمام فرنسيس بالأساس البيولوجى للوعى، ويعود ذلك إلى أيام ما بعد الحرب العالمية الثانية، بحماسى الطليق للتفكير فى الانتباه البصرى والوعى فى إطار حسابى وربط ذلك بالدوائر البيولوجية العصبية. أخذت تأملاتنا المشتركة شكلا ملموسًا مع إعادة اكتشاف النشاط الشوكى spiking فى اللحاء البصرى visual cortex للقطط فى أواخر ثمانينيات القرن العشرين. نشرْتُ مع فرنسيس البحث الأول، "نحو نظرية بيولوجية عصبية للوعى"، فى ١٩٩٠. وحين توفرت بيانات جديدة وتطور رأينا إلى تناول أوجه متعددة للوعى، واصلنا خطوات ثابتة فى النشر. على مدى السنوات الخمس الأخيرة، قضيتُ يومين أو ثلاثة شهريا فى بيت فرنسيس. واختار فرنسيس، لأسباب تخصه، ألا يكون مؤلفا مشاركا لهذا الكتاب. ومع ذلك، للتأكيد على الملكية المشتركة للأفكار الرئيسية التى نعبر عنها هنا، أكرر كثيرا كتابة "نحن" لأعنى "أنا وفرنسيس." أعرف أن هذا فريد بعض الشيء، لكن تعاوننا كان فريدًا.

رغم بقائى على حماسى، المكتسب فى الشباب، لبعض الفلاسفة الإغريق والألمان - أفلاطون وشوبنهور ونيتشه وفيتجنشتاين الابن(٩) - يكافح أسلوبى فى الكتابة ليتبع تقاليد الوضوح الأنجلوسكسونى. يلخص دليل الأيكونومست

The Economist الكتابة على النحو التالى: "عبِّر ببساطة قدر المستطاع". أحاول أن أكون واضحًا فى التمييز بين المعروف وما هو مجرد تأمل. أقدم إشارات للأدبيات فى هوامش كثيرة. وهذا يلمح أيضًا إلى تعقيدات قد لا تحظى باهتمام القارئ العام. حين يذكر مصلح تقنى للمرة الأولى يكتب بحروف سوداء ثم يشرح أكثر ضمن معجم المصطلحات.

إذا كانت هذه المسائل جديدة عليك، أقترح عليك البدء بقراءة الفصل التمهيدى، والمقابلة فى نهاية الكتاب، وتلخص أفكارى عن عدة مواضيع بأسلوب سلس. المادة التقنية الجديدة محتواة فى الفصول الثانى والتاسع والحادى عشر والثالث عشر والخامس عشر بينما الفصلان الرابع عشر والخامس عشر فى سياق تأملى أكثر.

أستخدم هذا الكتاب لفصل تمهيدى عن البيولوجيا العصبية للوعى. توجد المادة التقنية، التى تشمل تدفق الإصدارات فى وسائل الإعلام من كل محاضراتى، فى www.klab.caltech.edu/cns120.

أود التنويه هنا بكل من ساعد فى إصدار هذا الكتاب.

......

الهوامش:

(١) ديفيد هيلبرت Hilbert (١٨٦٢ ـ ١٩٤٣) : يعتبر من أهم علماء الرياضيات فى القرنين التاسع عشر والعشرين (المترجم).

(٢) مقدم الدماغ forebrain: أكبر جزء فى الدماغ ويتكون من المخ cerebrum والمهاد thalamus وتحت المهاد hypothalamus والجهاز الطرفى limbic system (المترجم).

(٣) لورد دنسانى Dunsany (١٨٧٨ ـ ١٩٥٧) : كاتب إنجليزى أيرلندى. نشر أكثر من ٨٠ كتابا تضم مئات القصص القصيرة والمسرحيات والروايات والمقالات (المترجم).

(٤) لاجولا :La Jolla منتجع سياحى. سان ديجو San Diego: مدينة جنوب كاليفورنيا على خليج سان ديجو قرب الحدود مع المكسيك (المترجم).

(٥) توبينجن Tübingen: مدينة جامعية وسط ولاية فورتمبيرج، جنوب غرب شتوجارت، عاصمة الولاية (المترجم).

(٦) توماسو بوجيو Tomaso Poggio: عالم إيطالى، أستاذ فى قسم الدماغ والعلوم المعرفية فى معمل الذكاء الاصطناعى (المترجم).

(٧) شيمون أولمان Ullman (١٩٤٨ ـ) : أستاذ الكمبيوتر فى معهد وايزمان للعلوم (المترجم).

(٨) باسادينا Pasadena: مدينة جنوب كاليفورنيا، شمال شرق لوس أنجلوس (المترجم).

(٩) فيتجنشتاين Wittgenstein (١٨٨٩ ـ ١٩٥١) : لودفيج فيتجنشتاين، فيلسوف بريطانى من مواليد النمسا، تركز أعماله على المنطق وفلسفة الرياضيات وفلسفة العقل وفلسفة اللغة (المترجم).

الفصل الأول

مقدمة لدراسة الوعى

الوعى هو ما يجعل مشكلة العقل والجسد عسيرة حقا...
دون الوعى يمكن أن تكون مشكلة العقل والجسد أقل أهمية بكثير.
مع الوعى تبدو مستعصية

من "ماذا يعنى أن تكون مضربا؟" توماس ناجل(١)

فى رواية توماس مان التى لم تكتمل، "اعترافات فليكس كرول، رجل ثقة"(٢)، يعلق البروفيسور كوكيوك Kuckuck للماركيز دى فينوستا Marquis de Venosta على المراحل الثلاث الأساسية والغامضة للخلق. أولا خلق شىء ما - أى: الكون - من العدم. الفعل الثانى للنشوء فعل ولَّد الحياة من مادة غير عضوية ميتة. الفعل الغامض الثالث ميلاد الوعى والكائنات الواعية، كائنات يمكن أن تتأمل أنفسها، من مادة عضوية(٣). لا يكتشف البشر وبعض الحيوانات على الأقل الضوء فقط، بتحريك عيونهم، وأداء أفعال أخرى، لكن لديهم أيضًا "مشاعر" ترتبط بهذه الأحداث. وهذه الخاصية اللافتة فى حاجة ملحة لتفسير. يبقى الوعى من الألغاز الرئيسية التى تواجه النظرة العلمية.

١ . ١ ماذا يحتاج إلى تفسير؟

طوال التاريخ المدوَّن، تساءل الرجال والنساء كيف نرى ونشم ونتأمل أنفسنا ونتذكر. كيف تنشأ هذه الأحاسيس؟ السؤال الرئيسى فى صميم مشكلة العقل

والجسد: "ما العلاقة بين العقل الواعى والتفاعلات الكهربية الكيميائية التى تحدث فى الجسم وتؤدى إلى ظهورها؟"(٤) كيف يظهر المذاق الملحى، أو قرمشة شرائح البطاطس، أو الرائحة المميزة للكلاب بعد تعرضها للمطر، أو مشاعر التعلق بالأصابع فى موضع ضئيل على جرف يرتفع مترين عن آخر موضع قدم آمن، من شبكات من الخلايا العصبية؟ هذه الخصائص الحسية، لبنات خبرة الوعى، تسمى بشكل تقليدى **كوليا** qualia. اللغز هو كيف يمكن أن يكون لجهاز فيزيائى كوليا؟

إضافة إلى ذلك، لماذا تكون كولى quale معينة كما هى لا بشكل مختلف؟ كيف يبدو الأحمر أحمر، مختلفًا تماما عن الإحساس برؤية الأزرق؟ هذه ليست رموزا عشوائية مجردة؛ تمثل للكائن شيئا ذا معنى. يتحدث الفلاسفة عن قدرة العقل على تمثيل الأشياء أو التفكير فيها. كيف ينبثق المعنى من نشاط كهربى فى الشبكات العصبية الهائلة ويبقى الدماغ سرًا دفينا. تلعب بالتأكيد بنية هذه الشبكات وروابطها دورًا، لكن كيف تلعبه؟(٥)

كيف يكون للبشر والحيوانات خبرات؟ لماذا لا يعيش الناس وينجبون ويربون الأطفال دون وعى؟ من موقع أفضلية ذاتية، يشبه هذا ألا نكون أحياء إطلاقًا، مثل من يسيرون نياما طوال الحياة. لماذا، إذن، من منظور التطور، يوجد الوعى؟ ما القيمة الباقية المرتبطة بالحياة الذاتية الذهنية؟

الزومبى، فى تراث هايتى Haitian، شخص ميت ينبغى أن ينفذ، بالقوة السحرية لساحر، رغبات الشخص الذى يسيطر عليه. فى الفلسفة، الزومبى كائن خيالى يتصرف ويعمل بالضبط مثل شخص طبيعى، لكنه يفتقر تماما لحياة شعورية أو أحاسيس أو مشاعر. يكذب الزومبى الماكر بشكل خاص، مدعيا أنه يشعر بشىء وهو لا يشعر.

تستدعى صعوبة تخيل الحياة دون خبرات واعية الأهمية الأساسية للشعور فى الحياة. متبعا الملاحظة الشهيرة لرينيه ديكارت ـ الواردة فى سياق تأسيس وجوده ـ يمكن أن أؤكد كل التأكيد "أننى واعٍ". ليس دائمًا، ليس فى نوم بلا أحلام أو تحت التخدير، لكن غالبًا حين أقرأ وأتكلم وأتسلق وأفكر وأناقش، أو حين أجلس فقط وأعجب بجمال العالَم(٦).

يتعمق السر مع إدراك أن كثيرًا مما يدور فى الدماغ يتخطى الوعى. تثبت التجارب الكهروفسيولوجية أن النشاط القوى فى جموع الخلايا العصبية يمكن أن يفشل فى توليد مُدْرَك واعٍ أو ذكرى واعية. فى فعل انعكاسى، تهز قدمك على الفور وبقوة إذا اكتشفتَ حشرة تزحف فوقها، حتى لو لم تدركْ ما يحدث إلا بعد ذلك. أو يتفاعل جسمك مع مشهد مرعب، عنكبوت أو بندقية، قبل أن يُسجِّل بوعى: يعرق كفاك، تزيد نبضات قلبك ويرتفع ضغط دمك، ويُفرَز الأدرينالين. يحدث هذا كله قبل أن تعرف أنك خائف، أو سبب الخوف. الكثير من السلوكيات الحسية الحركية المعقدة نسبيا سريعة وغير شعورية بصورة مماثلة. قضية التدريب أن تعلم جسمك تنفيذ سلسلة معقدة من الحركات بسرعة - رد رمية بداية، أو تلاشى ضربة، أو ربط حذاء - بلا تفكير. تمتد العمليات غير الشعورية إلى أعلى أنساق العقل. يرى سيجموند فرويد أن خبرات الطفولة - خاصة الخبرات ذات الطبيعة الرَّضِّية - يمكن أن تحدد بعمق سلوك البالغ بطريقة لا يتوصل إليها الوعى. تتخذ قرارات كثيرة ذات مستوى عالٍ ويتحقق الإبداع دون تفكير واعٍ. ونتناول هذا الموضوع بمزيد من العمق فى الفصل الثامن عشر.

هكذا يحدث الكثير مما يشكِّل أساس الحياة اليومية وتدفقها خارج الوعى. تأتى أفضل الأدلة على هذا من العيادة. تأمل حالة غريبة للمريضة د. ف.، بمرض فى الأعصاب. تعجز عن رؤية الأشكال أو التعرف على صور أشياء يومية، ومع ذلك تستطيع التقاط كرة. ومع أنها لا تستطيع تحديد اتجاه فتحة رفيعة مثل فتحة صندوق البريد (هل هى أفقية؟) تضع خطابًا فى الفتحة برشاقة (الشكل ١٢، ٢). بدراسة هؤلاء المرضى، استنتج المشتغلون بعلم النفس العصبى وجود عوامل زومبية فى الدماغ،(٧) تتخطى الوعى؛ أى لا تشمله (أكرر ما ذكرته فى هامش سابق فى هذا الفصل، أساوى بين كلمتى awareness، consciousness). تُكرِّس هذه العوامل للمهام النمطية، مثل تحويل اتجاه العينين أو وضع اليد. تعمل عادة بسرعة ولا علاقة لها بالذاكرة الصريحة. أعود إلى هذه المواضيع فى الفصلين الثانى عشر والثالث عشر.

لماذا، إذن، لا يكون الدماغ مجرد مجموعة كبيرة من العوامل الزومبية المتخصصة؟ ربما تكون الحياة مملة إذا كان الوضع كذلك، لكن إذا كانت هذه

العوامل تعمل بعفوية وسرعة، ما الحاجة للوعى إذن؟ ما وظيفته؟ أبرهن فى الفصل الرابع عشر على أن الوعى يعطى مدخلا لنمط معالجة متأنية ذات هدف عام لتخطيط مجموعة أعمال مستقبلية وتأملها. بلا وعى تكون أسوأ حالا.

الوعى مسألة خاصة جدًا. لا يمكن نقل الإحساس مباشرة إلى شخص آخر، تطوّقه خبرات أخرى عادة. حاول تفسير خبرتك برؤية الأحمر. ينتهى بك الحال إلى ربطه بمُدرَكات أخرى، مثل "أحمر مثل الغروب" أو "أحمر مثل علم صينى (تصبح هذه الغاية شبه مستحيلة عند التواصل مع شخص كفيف منذ مولده). يمكنك التحدث بحديث ذى معنى عن العلاقات ضمن خبرات مختلفة، لكن لا يمكنك الحديث عن أية خبرة مفردة. وهو ما يحتاج إلى تفسير أيضًا.

هنا، إذن، امتياز بحثنا: لنفهم كيف ولماذا يرتبط الأساس العصبى لإحساس شعورى خاص بذلك الإحساس وليس بإحساس آخر، أو بحالة غير شعورية تماما؛ لماذا تبنى الأحاسيس كما هى، كيف تكتسب معنى، ولماذا هى خاصة؛ وأخيرًا كيف ولماذا تحدث سلوكيات كثيرة بلا وعى.

١ ـ ٢ مجال للإجابات

تأمل الفلاسفة والعلماء مشكلة العقل والجسد بشكلها الحالى منذ نشر رينيه ديكارت كتاب "أطروحة الإنسان "Traité de l'homme" فى منتصف القرن السابع عشر. ومع ذلك، حتى ثمانينيات القرن العشرين، لم تشر معظم الأعمال فى علوم الدماغ إلى الوعى. فى العقدين الأخيرين، نشر فلاسفة وعلماء نفس وعلماء معرفة وإكلينيكيون وعلماء أعصاب، ومهندسون عشرات من رسائل وكتب سعت إلى "اكتشاف" الوعى أو "تفسيره" أو "إعادة النظر فيه". كثير من هذه الأدبيات تأملى تماما أو يفتقر إلى برنامج علمى تفصيلى لاكتشاف منظم للأساس العصبى للشعور، ومن ثم لا يساهم فى الأفكار التى نناقشها فى هذا الكتاب.

قبل تقديم المقاربة التى اتبعناها أنا وفرنسيس كريك ـ وقد أعاننى وقتا طويلا لطرح هذه المشاكل ـ أقوم بمسح المشهد الفلسفى لأطلع القراء على بعض المقولات المحتملة لإجابات اهتم بها الناس. وعلينا أن نضع فى عقولنا أننا لا نقدم هنا خطوطًا عامة لهذه الأوضاع.(٨)

يعتمد الوعى على روح غير مادية

يُعرَف أفلاطون، أبو الفلسفة الغربية، على نطاق واسع، بمفهوم يعتبر الشخص روحا خالدة مسجونة فى جسد فان. وافترض أيضًا أن للأفكار وجودًا حقيقيا وأنها أبدية. استُوعِبتْ هذه الآراءُ الأفلاطونية بعد ذلك فى "العهد الجديد" وشكلت أساس العقيدة الكاثوليكية الرومانية الكلاسيكية عن الروح. تشترك أديان ومعتقدات كثيرة عبر العالم فى الإيمان بروح متسامية وخالدة فى قلب الوعى.[٩]

فى العصور الحديثة، ميز ديكارت بين مادة البدن res extensa ـ مادة فيزيائية بامتداد فضائى يشمل أرواح الحيوانات التى تنساب فى الأعصاب وتملأ العضلات، ومادة ذهنية res cogitans هى مادة التفكير. ورأى أن المادة الذهنية خاصة بالإنسان وتودى إلى الوعى. يشكل التقسيم الوجودى لديكارت التعريف الحقيقى للثنائية: جوهران، محتوى الروح ومادتها. افترض أرسطو وتوما الأكوينى مبكرا أشكالا ضعيفة من الثنائية. ومن أشهر المدافعين الحديثين عن الثنائية الفيلسوف كارل بوبر وفسيولوجى الأعصاب جون إكلز الحائز على نوبل. [١٠]

بينما تتسق الأوضاع الثنائية منطقيا فإنها غير مُرْضية من منظور علمى. المزعج بشكل خاص نمط التفاعل بين الروح والدماغ. كيف يفترض حدوث ذلك وأين؟ يفترض أن هذا التفاعل ينبغى أن يتوافق مع قوانين الفيزياء. ويتطلب، مع ذلك، تبادلا للطاقة يحتاج إلى تفسير. ماذا يحدث لهذه الجوهر الشبحى، الروح، بمجرد أن يموت حاملها، الدماغ؟ تطفو حولنا فى فضاء خاص،[١١] مثل شبح؟[١٢]

يمكن إنقاذ مفهوم الجوهر غير المادى بافتراض خلود الروح واستقلالها تمامًا عن الدماغ. وهذا يتركها شيئا لا يمكن وصفه أو الكشف عنه، "شبح فى الآلة"، باستخدام تعبير صاغه جيلبرت رايل خارج العلم. [١٣]

لا يمكن فهم الوعى بطريقة علمية

ثمة تقليد فلسفى مختلف تماما هو الوضع الملتبس،[١٤] يدعى أن البشر عاجزون عن فهم الوعى؛ لأنه بالغ التعقيد فقط. هذا القصور مبدئى منهجى

(كيف يمكن لجهاز فهم نفسه تماما؟) أو عملى، يُعتبَر تشاؤمًا بشأن عجز عقل الإنسان عن القيام بالمراجعات الضرورية والشاملة للمفاهيم (ما فرصة فهم القردة العليا لنظرية النسبية العامة؟)

يؤكد فلاسفة آخرون أنهم لا يرون كيف يمكن للدماغ الفيزيائى أن يولِّد وعيًا ومن ثم يُحكَم على أى برنامج علمى لاستكشاف الأساس الفيزيائى للوعى بالفشل. هذا برهان على الجهل: لا يُعتبَر الغياب الحالى لبرهان دامغ لارتباط بين الدماغ والعقل الواعى دليلا على غياب هذا الارتباط. بالطبع، للرد على هذه الانتقادات، على العِلم أن يأتى بمفاهيم وأدلة مناسبة لدعم هذا الارتباط.

ومع أن العلماء قد لا يفهمون أبدًا بشكل كامل ـ حتى على مستوى المبدأ، فضلاً عن المستوى العملى ـ عمل الأدمغة وتخليق الوعى، فمن المبكر استنتاج ذلك الآن. علم الأعصاب فرع ناشئ، يراكم معرفة جديدة بمناهج تتطور باستمرار بسرعة مدهشة. قبل أن يأخذ كثير من هذا التطور مساره، لا مبرر للوصول إلى هذا الاستنتاج الانهزامى. لا يعنى بالضرورة عجز عالم معين عن فهم الكيفية التى قد يظهر بها الوعى أنه يتجاوز فهم كل البشر!

الوعى وهمى

يتمثل نوع آخر من التفاعل الفلسفى مع ورطة العقل والجسد فى إنكار وجود مشكلة إطلاقًا. أنشط المناصرين المعاصرين لهذه المقولة المناقضة للحدس ـ الناشئة فى التقاليد السلوكية ـ دانيال دينيت من جامعة توفتس Tufts. [١٥] يرى فى "تفسير الوعى "Consciousness Explained"، أن الوعى كما يتصوره معظم الناس وهمٌ مُتقَنٌ، تتوسط فيه حواس فى تواطؤ مع نتاج حركى، وتدعمه مفاهيم اجتماعية وتعليم. يعترف بأن الناس يدّعون أنهم واعون وأن هذا مستمر، لكنه خطأ، اعتقاد يحتاج إلى تفسير، وينكر الواقع الداخلى لأوجه الكوليا، التى يستحيل الإمساك بها. يعتقد أن الطريقة المعتادة فى التفكير فى الوعى خطأ بيِّنٌ. يسعى دينيت إلى تفسير تعليق الشخص الثالث على الوعى ويرفض أوجه تعليق الشخص الأول ويبقيه مقاومًا للاختزال. [١٦]

يعنى الإحساس بألم فى الأسنان أنك على وشك التعبير عن سلوك معين، أو الرغبة فى التعبير عنه: التوقف عن المضغ فى ذلك الجانب من الفم، الابتعاد والاختفاء حتى يتلاشى الألم، التكشير، إلخ. هذه "الميول التفاعلية"، كما يسميها، واقعية. لكن سوء الألم ليس كذلك، طبقا لرأى دينيت. لا يوجد هذا الإحساس المراوغ. (١٧)

وإذا وضعنا فى الاعتبار مركزية المشاعر الذاتية فى الحياة اليومية، فإن الأمر يتطلب دليلا حقيقيا واستثنائيا قبل استنتاج أن الكوليا والمشاعر وهمية. إن المناظرات الفلسفية، المؤسسة على التحليل المنطقى، حتى حين تُحصَّن بنتائج من علم النفس المعرفى، ليست قوية بما يكفى للتعامل مع الدماغ الحقيقى بكل أشيائه الدقيقة بأسلوب حاسم. يكون المنهج الفلسفى فى أفضل أحواله حين يصوغ أسئلة، ولا تكون لديه إجابات كثيرة عنها. تتمثل المقاربة المؤقتة التى اتبناها فى هذا الكتاب فى اعتبار خبرات الشخص الأول حقائق صمَّاء عن الحياة والسعى إلى تفسيرها. (١٨)

يتطلب الوعى قوانين جديدة تماما

دعا البعض إلى قوانين علمية جديدة لتفسير لغز الوعى، لا مجرد حقائق ومبادئ أخرى عن الدماغ. يرى روجر بنروز، (١٩) فى جامعة أكسفورد، فى العمل المدهش "العقل الجديد للإمبراطور "The Emperor's New Mind" أن الفيزياء الحالية لا تستطيع تفسير القوى الحدسية للرياضيين ـ وبالتالى للناس عموماً. يؤمن بنروز بأن نظرية لم تصغ بعد عن جاذبية الكم quantum gravity ستفسر كيف يقوم الوعى الإنسانى بعمليات يستحيل أن يقوم بها كمبيوتر (تورنج Turing). بالارتباط مع طبيب التخدير ستوارت همروف،(٢٠) فى جامعة أريزونا فى توسن Tucson، افترض برنوز أن الأنابيب الدقيقة، بروتينات سيتو هيكلية تحتشد ذاتيا توجد فى كل خلايا الجسم،(٢١) تتورط بحسم فى تسوية الحالات الكمية المترابطة عبر مجموعات كبيرة من الخلايا العصبية.(٢٢)

بينما طرح بنروز مناظرة قوية متعلقة بما يقال من أنه إن كان لدى علماء الرياضيات مداخل لحقائق لا يمكن حسابها، وإن كان يمكن تمثيلها بالكمبيوتر،

يبقى سرا بمعنى الكلمة كيفية تفسير الجاذبية الكمية لحدوث الوعى فى فئات معينة من مواد منظمة جيدا. لكل من الوعى والجاذبية الكمية خصائص مبهمة، لكن استنتاج أن خاصية ما سبب الأخرى يبدو عشوائيا. ولعدم وجود دليل على التأثيرات الميكانيكية الكمية الواضحة التى تحدث فى الدماغ، لن أتابع هذه الفكرة أكثر.

قدم الفيلسوف ديفيد تشالمرز،[٢٣] فى جامعة أريزونا فى توسن، خطوطًا عريضة لفرضية بديلة للمعلومات فيها وجهان: وجه يدرك فيزيائيا ويُستخدَم فى الكمبيوترات، ووجه ظاهرى أو تجريبى لا يمكن الوصول إليه من الخارج. ويرى أن أى جهاز لمعالجة المعلومات، من الترموستات إلى دماغ الإنسان، يمكن أن يعى على الأقل بمعنى بدائى (رغم اعتراف تشالمرز باحتمال أن يكون غير ذى معنى "أن تكون ترموستات"). بينما لجرأة منح كل الأجهزة التى تمثل المعلومات بخبرة إغراء معينًا وبراعة، لا أعرف كيف يمكن اختبار فرضية تشالمرز علميا. حاليا، يمكن قبول هذه البانسيكزم الحديثة باعتبارها فرضية مثيرة.[٢٤] عبر الزمن، ربما يثبت أن نظرية تصاغ بلغة الاحتمالات ونظرية المعلومات ضروريتان لفهم الوعى. حتى إذا كان الإطار الذى يقدمه تشالمرز مقبولا، يجب استنباط بنية كمية أكثر. هل تسهِّل أنواع معينة من أساليب المعالجة، من قبيل المتوازى الهائل مقابل المسلسل، نشأة الوعى؟ هل يرتبط ثراء الخبرة بكمية الذاكرة أو تنظيمها (ذاكرة مشتركة أو غير مشتركة، متدرجة هرميا أو غير متدرجة، إستاتيكية أو ديناميكية، إلخ).[٢٥]

بينما لا أستبعد احتمال أن يتطلب تفسير الوعى قوانين جديدة بشكل أساسى، لا أرى حاليا حاجة ملحة لهذه الخطوة.

الوعى يتطلب سلوكا

يؤكد التعليق النشط أو الحسى الحركى حقيقة عدم إمكانية النظر للجهاز العصبى منعزلا. إنه جزء من جسد يعيش فى بيئة، اكتسب، خلال عدد هائل من التفاعلات الحركية الحسية عبر حياته، معرفة عن طريقة عمل العالم (بما فى ذلك جسده). وتستخدم هذه المعرفة بمهارة فى مواجهات الجسد مع العالم

باستمرار. ويعترف أنصار هذا الرأى بأن الدماغ يدعم الإدراك، لكنهم يدَّعون أن النشاط العصبى لا يكفى للوعى، ومن العبث النظر إلى الأسباب أو الارتباطات الفيزيائية للوعى. تصرُّف الكائن المنغرس فى بيئة معينة هو ما يولِّد المشاعر. (٢٦)

بينما يؤكد أنصار الرأى النشط بشكل صائب أن الإدراك يحدث عادة فى سياق فعل، لا أستطيع الصبر على تجاهلهم للأساس العصبى للإدراك. إذا كان هناك شىء تأكد العلماء منه بصورة معقولة فهو أن نشاط الدماغ ضرورى وكافٍ للقدرة البيولوجية على الإحساس. ينبثق الدعم الإمبريقى لهذه الحقيقة من مصادر كثيرة. على سبيل المثال، تُكبَح كل العضلات الإرادية تقريبا فى الحلم، حالة وعى شديد. أى أن معظمنا، كل ليلة، تنتابه نوبات من المشاعر الظاهرية ويفشل فى الحركة.(٢٧) ثمة مثال آخر يتمثل فى أن التنبيه المباشر للدماغ بنبضات كهربية أو مغناطيسية تطلق مدرَكات بسيطة، مثل ومضات ملونة من النور، أساس البحث المستمر فى الأجهزة العصبية التعويضية للمكفوفين. أيضًا، كثير من المرضى حظهم سيئ بما يكفى لفقد القدرة على استخدام الجهاز الحركى، سواء فى نوبات قصيرة(٢٨) أو بشكل دائم،(٢٩) ولا تنقطع خبرتهم بالعالم.

أستنتجُ أن الفعل ليس ضروريا للوعى. بالطبع، لا يعنى هذا أن حركة الجسم والعينين والأطراف، إلخ، ليست مهمة لتشكيل الوعى. إنها مهمة! لكن السلوك ليس ضروريا تماما لحدوث الكوليا.

الوعى خاصية تنبثق عن أجهزة بيولوجية معينة

تتمثل الفرضية العملية فى هذا الكتاب فى أن الوعى ينبثق من خصائص عصبية للدماغ.(٣٠) من غير المرجح أن يتطلب فهم الأساس المادى للوعى فيزياء دخيلة جديدة، بل يتطلب تقديرا أكثر عمقًا لكيفية عمل شبكات مترابطة جدا من عدد كبير من خلايا عصبية متنوعة. يُنتقَص بشكل روتينى من قدرات ائتلافات الخلايا العصبية على التعلم من التفاعلات مع البيئة ومن أنشطتها الداخلية. الخلايا العصبية الفردية ذاتها كيانات معقدة بأشكال فريدة وآلاف من المعلومات الواردة والصادرة. الارتباطات بينها، المشابك synapses، ماكينات جزيئية مزودة بحسابات تعدِّل قوتها وديناميكياتها عبر مقاييس زمنية كثيرة. للبشر خبرات

ضئيلة بمثل هذا التنظيم الهائل، ويكافح حتى علماء الأحياء لتقدير خصائص الجهاز العصبى وقوته.

يمكن تقديم تماثل معقول مع مناظرة اندلعت فى منعطف القرن العشرين عن النزعة الحيوية والآليات المسئولة عن الوراثة.[٣١] كيف يمكن لمخزن كيميائى تفسير إنتاج انقسام جنين ضفدعة واحدة فى مرحلة الخليتين إلى ضفدعتين وليدتين؟ ألا يتطلب هذا بعض القوة **الحيوية** vitalistic، أو قانون جديد فى الفيزياء، كما افترض إروين شرودينجر؟ [٣٢]

الصعوبة الأساسية التى واجهها الباحثون فى ذلك الوقت هى العجز عن تخيل الخصوصية العظيمة المتأصلة فى الجزيئات الفردية. وقد يكون وليم باتسون،[٣٣] أحد الرواد الإنجليز فى علم الوراثة فى بدايات القرن العشرين، أفضل من عبروا عن هذا. فى مراجعة عام ١٩١٦ لكتاب **"آلية وراثة ماندل** The Mechanism of Mendelian Heredity"، من تأليف توماس هنت مورجان، الحائز على جائزة نوبل، ومشاركيه: [٣٤]

> ترتبط خصائص الأشياء الحية بشكل ما بأساس مادى، ربما بدرجة خاصة بكروماتين النواة؛[٣٥] لكن لا يمكن تصور أن جسيمات الكروماتين أو أية مادة أخرى، مهما تكن معقدة، تتمتع بتلك القوى التى يجب أن تنسب إلى عواملنا أو جيناتنا. فرضية أن جسيمات الكروماتين التى لا يمكن تمييزها من بعضها، وهى متجانسة تقريبا، باختبار معروف، يمكن بطبيعتها المادية أن تنقل كل خصائص الحياة وتتجاوز حتى عددًا من النزعة المادية الأكثر إقناعًا.

ما لم يعرفه باتسون وآخرون فى ذلك الوقت، إذا وضعنا فى الاعتبار التكنولوجيا المتاحة، أن الكروماتين (أى الكروموسومات) متجانسة فقط إستاتيكيا، لكونها مكونة من كميات متساوية تقريبا من القواعد النووية الأربع، وأن التسلسل الخطى الدقيق للنكليوتيدات يشفر أسرار الوراثة.[٣٦] قلل علماء

الجينات من شأن قدرة هذه النكليوتيدات على تخزين كميات مذهلة من المعلومات. وقللوا أيضًا من شأن الخصوصية المذهلة لجزيئات البروتين، الناتجة عن الانتقاء الطبيعى عبر بضعة مليارات من سنوات التطور. ويجب عدم تكرار هذه الأخطاء فى البحث لفهم أساس الوعى.

مرة أخرى، أفترضُ أن الأساس الفيزيائى للوعى خاصية تنبثق عن تفاعلات خاصة بين الخلايا العصبية وعناصرها. رغم توافق الوعى تمامًا مع قوانين الفيزياء، ليس من المعقول توقع الوعى أو فهمه من هذه القوانين.

١ - ٣ مقاربتى براجماتية إمبريقية

لأحدث تقدُّمًا فى هذه الأسئلة الصعبة دون التورط فى مناوشات متنوعة، أضع فرضيات دون تبريرها بتفاصيل كثيرة جدا. ربما تحتاج هذه الفرضيات العملية المؤقتة إلى تنقيح، وربما تُرفَض فيما بعد. أيَّدَ ماكس دلبروك،[٣٧] وهو فيزيائى تحول إلى علم الأحياء الجزيئى، "مبدأ الإهمال المحدود" فى التجارب. أوصى بتجريب الأشياء بطريقة تقريبية وجاهزة لمعرفة إمكانية فهمها. أطبق هذا المبدأ على عالَم الأفكار المتعلقة بالدماغ.

تعريف عملى

لدى كل فرد تقريبا فكرة عما يعنيه أن يعى. يرى الفيلسوف جون سيرل[٣٨] أن "الوعى يتكون من حالات قدرة على الإحساس، أو المشاعر، أو الشعور، تبدأ فى الصباح حين نستيقظ من نوم بلا أحلام وتستمر طوال اليوم حتى نسقط فى غيبوبة أو نموت أو ننام مرة أخرى أو لا نعى بشكل ما."[٣٩] إذا طلبْتُ منك أن تصف ما تراه واستجبْتَ بأسلوب مناسب، أفترضُ أنك تعى. يتطلب الأمر شكلا من أشكال الانتباه، لكنه لا يكفى. إجرائيا، الوعى مطلوب لمهام غير روتينية تتطلب الاحتفاظ بالمعلومات لثوانٍ.

رغم التباس هذا التعريف المؤقت إلى حد كبير فإنه جيد بما يكفى لنبدأ. وعلم الوعى يتطور، ويحتاج إلى التنقيح والتعبير عنه بمزيد من المصطلحات العصبية الأساسية. ولفهم المشكلة بشكل أفضل، من المرجح أن يكون التعريف

الأكثر منهجية للوعى مضللا أو محدودا بوضوح، أو الاثنين معًا. إذا بدا هذا مراوغا، حاول أن تُعرِّف الجين. هل هو وحدة ثابتة للانتقال الوراثى؟ هل يشفِّر الجين إنزيما واحدًا؟ ماذا عن الجينات البنيوية والمنظِّمة؟ هل يناظر الجين جزءًا متصلا من حمض نووى؟ ماذا عن الإنترونات؟[٤٠] أليس من المعقول أكثر تعريف الجين بأنه نسخة ناضجة من mRNA بعد حدوث كل الإعداد editing والاقتران splicing. عرف الآن الكثير عن الجينات ويحتمل أن يكون أى تعريف بسيط غير وافٍ. لماذا يكون من الأسهل تعريف شىء مراوغ مثل الوعى؟[٤١]

تاريخيا، تحقق عمومًا تقدمٌ علمى كبير فى غياب تعريفات منهجية. على سبيل المثال، صاغ أوم Ohm وأمبير Ampère وفولتا Volta القوانين الفينومينولوجية لتدفق التيار الكهربى قبل اكتشاف طمسون Thompson للإلكترون فى ١٨٩٢. فى الوقت الحالى أتبنى التعريف العملى السابق للوعى وسوف أرى إلى أى مدى يمكن أن أتوافق معه.

الوعى ليس مميزًا للبشر

من المقبول أن بعض أنواع الحيوانات - وخاصة الثدييات - تتمتع ببعض خصائص الوعى وليس كلها بالضرورة؛ ترى وتسمع وتشم، وبشكل ما تحس بالعالم. بالطبع، لكل نوع مركز إحساس فريد، يناظر وضعه البيئى. وأفترض أن لهذه الحيوانات مشاعر، ولها حالات ذاتية. إن الاعتقاد بشىء مختلف صلف ويتعارض مع كل الأدلة التجريبية عن استمرارية السلوكيات بين الحيوانات والبشر. كلنا أبناء الطبيعة.

ويصح هذا خاصة فى حالة القرود والقردة العليا، ويتماثل سلوكها وتطورها وبنية دماغها بشكل لافت مع سلوك الإنسان وتطوره وبينة دماغه (يحتاج الأمر إلى خبير للتمييز بين ١مم٣ من نسيج دماغ قرد وقطعة مناظرة من نسيج دماغ الإنسان). تعتمد اليوم أفضل طريقة لدراسة تنبيه الوعى على ربط الاستجابات العصبية للقرود المدرَّبة بسلوكها. وإذا وضعنا هذا التماثل فى الاعتبار، فإن تجارب مناسبة على الرئيسات من غير البشر - تُجرَى بطريقة إنسانية وخلقية - مصدر قوى لاكتشاف الآليات المسئولة عن الوعى.[٤٢]

بالطبع، يختلف البشر بشكل أساسى عن كل الكائنات الأخرى بالقدرة على الكلام. تمكن اللغة الحقيقية الجنس البشرى من تصوير المفاهيم المعقدة بشكل عشوائى ونشرها. تؤدى اللغة إلى الكتابة، والديموقراطية النيابية، والنسبية العامة، وكمبيوتر ماكنتوش، أنشطة وابتكارات تفوق قدرات أصدقائنا من الحيوانات. أدت أولية اللغة لمعظم أوجه الحياة المتحضرة إلى اعتقاد بين الفلاسفة وعلماء اللغة وآخرين بأن الوعى مستحيل دون لغة، ومن ثم يمكن فقط للبشر أن يشعروا ويتأملوا أنفسهم. بينما قد يكون هذا صحيحًا، بشكل محدود، بشأن الوعى الذاتى (كما فى "أعرفُ أننى أرى أحمر")، كل الأدلة من مرضى انشطار الدماغ،[٤٣] والأطفال المتوحدين، ودراسات التطور، والسلوك الإنسانى تتوافق تمامًا مع أن الثدييات على الأقل تشعر بمشاهد الحياة وأصواتها.[٤٤]

من غير المعروف، حاليا، إلى أى حد تشترك كل الحيوانات فى الإدراك الواعى. من المحتمل أن الوعى يرتبط إلى حد ما بتعقد الجهاز العصبى للكائن. الحبّار squids والنحل وذبابة الفاكهة وحتى الدودة المدورة roundworms قادرة كلها على القيام بسلوكيات معقدة إلى حد بعيد. ربما تتمتع بمستوى ما من الوعى؛ ربما تشعر أيضًا بالألم، وتجرب اللذة، وترى.

كيف يمكن مقاربة الوعى بأسلوب علمى؟

يأخذ الوعى أشكالا كثيرة، ومن الأفضل أن نبدأ بالشكل الأسهل فحصه. لدراسة الرؤية مميزات عديدة مقارنة بدراسة الحواس الأخرى، على الأقل حين يتعلق الأمر بفهم الوعى.

أولا، البشر كائنات بصرية. وينعكس هذا فى قدر كبير من نسيج الدماغ مكرس لتحليل الصور، وفى أهمية الرؤية فى الحياة اليومية. إذا كنت تعانى من برد، على سبيل المثال، يصاب أنفك بزكام وقد تفقد حاسة الشم، ولا يعوقك ذلك كثيرا. من ناحية أخرى، يدمرك الفقد المؤقت للبصر، كما فى عمى الجليد.[٤٥]

ثانيا، كما لاحظ الفيلسوف أرثر شوبنهور فى شبابه فى ١٨١٢،[٤٦] يمكن خداع البصر بسهولة أكثر من الحواس الأخرى. ويتجلى هذا فى عدد لا نهاية له من الأوهام. لنأخذ عمى الحركة: motion-induced blindness باقة من الأضواء

الزرقاء المتحركة بشكل عشوائى موضوعة على ثلاث بقع صفراء بارزة تماما لكنها ساكنة، ركز البصر على أى مكان فى العرض، وبعد لحظة يختفى قرص ببساطة أو اثنان أو حتى الثلاثة كلها.[٤٧] مضت! مشهد مذهل: يمكن أن يطمس الأزرقُ المدوِّم البقع الصفراء من المشهد، رغم استمرار البقع الصفراء فى تنبيه الشبكية. بعد حركة خاطفة من العين تظهر البقع. بينما هذه الظواهر الحسية بعيدة تماما من "التعمد"، و"عن الوعى"، و"الإرادة الحرة"، ومفاهيم أخرى عزيزة على الفلاسفة، فإن فهم الأساس العصبى للأوهام البصرية قد يعلمنا الكثير عن الأساس الفيزيائى للوعى فى الدماغ. فى الأيام الأولى من علم الأحياء النووى، ركز دلبروك[٤٨] على علم وراثة الفاج phages، وهى فيروسات بسيطة تلتهم البكتريا. ربما اعتقدتَ أن الطريقة التى تمرر بها الفاج المعلومات إلى خلفها لا صلة لها بالوراثة فى الإنسان. لكن الحالة ليست كذلك. أيضًا، اعتقاد إريك كندل[٤٩] بأن القوقعة البحرية منخفضة الرتبة أبلازيا Aplysia لديها الكثير مما تعلمه لنا عن الإستراتيجيات النووية والخلوية المؤسِّسة لذاكرة ثبت أنها قادرة على التنبؤ (Kandel, 2001).

الأخير، والأكثر أهمية، فُحِص الأساس العصبى للكثير من الظواهر والأوهام العصبية فى كل المملكة الحيوانية. تطور علم أعصاب الإدراك لدرجة بناء نماذج حسابية معقدة بشكل معقول وثبتتْ جدارتها فى توجيه الأجندات التجريبية وتلخيص البيانات.

ولذا أركز على الإحساس أو الوعى البصرى. يشير أنطونيو دمازيو،[٥٠] طبيب أعصاب بارز فى جامعة أيوا، إلى هذه الأشكال الحسية من الوعى باعتبارها **الوعى الجوهرى** core، ويميز بينها وبين **الوعى الممتد** extended[٥١]. يتعلق الوعى الجوهرى بـ "هنا" و"الآن"، ويتطلب الوعى الممتد إحساسًا بالذات ـ الوجه المرجعى للذات الذى يلخص الوعى ـ والماضى والمستقبل المتوقع.

يهمل برنامجى البحثى، حاليا، هذه الأوجه وأوجهًا أخرى مثل اللغة والانفعالات. ولا يعنى هذا أنها ليست مهمة بشكل حاسم للبشر. إنها مهمة. المصابون بالحبسة الكلامية aphasics، أو الأطفال المصابون بتوحد شديد، أو المرضى الذين فقدوا إحساسهم بالذات، معوقون بشدة، ويحجزون فى

مستشفيات أو دور رعاية، فى معظم الأحوال يمكن أن يروا ويتألموا. يشترك الوعى الممتد مع الوعى الحسى فى الموقف المبهم ذاته، لكنه أسهل بكثير فى الأبحاث التجريبية حيث إن هذه القدرات لا يمكن دراستها بسهولة فى الحيوانات المعملية، مما يجعل الوصول إلى الخلايا العصبية المسئولة صعبًا.

تؤسس اختيارى فرضيةً مؤقتةً بأن كل مختلف أوجه الوعى (الشم، الألم، الرؤية، الوعى الذاتى، الشعور بالرغبة فى فعل، الإحساس بالغضب، إلخ) تستخدم آلية مشتركة وربما بضع آليات مشتركة. ومن ثم يسهِّل فهمُ الأساس العصبى لحاسة فهمَها جميعًا. من منظور استبطانى، هذه الفرضية راديكالية تمامًا. ما المشترك بين صوت ومشهد ورائحة؟ يبدو محتواها مختلفًا تماما، لكن للثلاثة كلها طنينًا سحريًا. وإذا وضعنا فى الاعتبار طريقة عمل الانتقاء الطبيعى، فمن المرجح أن الأحاسيس الذاتية المرتبطة بعضها ببعض تحدث بأحداث ودوائر عصبية مماثلة.

ألمح أيضًا للخطوط غير البصرية للعمل، مثل حاسة الشم والارتباط الشرطى لبافلوف، خاصة إذا كانت لها خصائص تجعلها سهلة الدراسة فى المعمل. وإذا وضعنا فى الاعتبار الرغبة فى ربط الوعى بالنشاط المتأجج فى الخلايا العصبية الفردية وترتيبها، يتطلب الأمر القيام بتجارب مناسبة على تصرفات الفئران. يسمح التطور المذهل فى أدوات البيولوجيا الجزيئية، التى تزداد قوة باستمرار، للعلماء بالتعامل مع أدمغة القوارض بطريقة مدروسة ودقيقة يمكن عكسها، وهو شىء مستحيل حاليا فى الرئيسات.

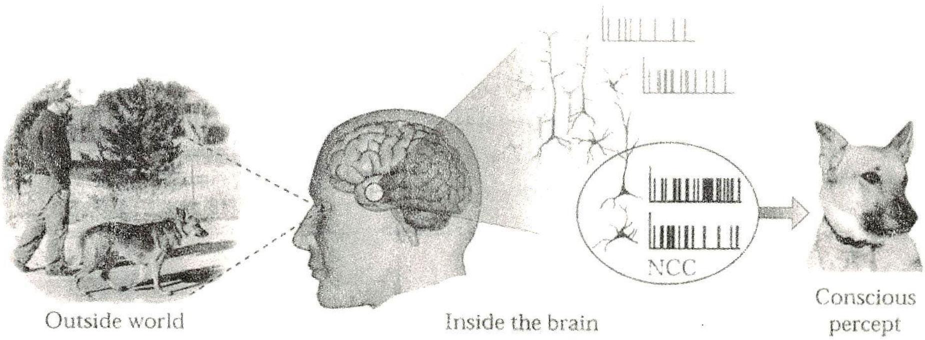
لا يغطى هذا الكتاب **تغير حالات الوعى**. التنويم المغناطيسى، خبرات الانفصال عن الجسم(٥٢)، الأحلام الجلية، الهلوسة، الاستغراق فى التأمل، إلخ. كلها دراسات لحالات فاتنة لوضع الإنسان، لكن يصعب الوصول إلى التمثيل العصبى المؤسس لها (هل يمكن تنويم قرد مغناطيسيا؟). على نظرية شاملة عن الوعى أن تفسر فى النهاية هذه الظواهر.(٥٣)

١ - ٤ الارتباطات العصبية للوعى

نصمم أنا وفرنسيس على اكتشاف **الارتباطات العصبية للوعى** neuronal correlates of consciousness (NCC). أنت تَعِى المعلوماتِ حين تُمثَّل فى

الارتباطات العصبية للوعى. تتمثل الغاية فى الكشف عن أقل مجموعة من الأحداث والآليات العصبية التى تكفى معا لمُدْرَك شعورى معين (الشكل ١-١). تشمل هذه الارتباطات النشاط المتأجج للخلايا العصبية فى مقدم الدماغ.(٥٤) كما يأتى بالتفصيل فى الفصل التالى، أعنى بالنشاط المتأجج سلسلة نبضات، قيمتها حوالى عُشْر فولت لمدة ٠,٥ - ١ ملى ثانية، تصدرها الخلايا العصبية حين تستثار. يمكن معالجة هذه الشوكات spikes المزدوجة أو جهود الفعل باعتبارها النتاج الأساسى لخلايا مقدم الدماغ. تنبيه الخلايا المناسبة بتقنية لم تُخترَعْ بعد يكرر نشاطها الشوكى ذاته، وينبغى أن يطلق المدرك ذاته مثل استخدام الصور الطبيعية أو الأصوات أو الروائح. كما أكدت قبل صفحات، أفترضُ أن الوعى يعتمد على ما فى الرأس، ولا يعتمد بالضرورة على سلوك الكائن.

- بيانات الرسم من اليسار إلى اليمين:
العالم الخارجى - داخل الدماغ - مدرك واع



- الشكل ١-١ **الارتباطات العصبية للوعى**: الارتباطات العصبية للوعى أصغر مجموعة - هنا جهود فعل متزامنة فى الخلايا الهرمية فى اللحاء الجديد - تكفى لمدرك شعورى معين.

مفهوم الارتباطات العصبية للوعى أكثر دقة بكثير مما هو موضح فى الشكل، ويجب أيضًا أن يحدد مجال الظروف والبيانات التى يدعمها الارتباط بين الأحداث العصبية والمُدْرَك الشعورى. هل تكون العلاقة حقيقية فقط والمرء يقظ؟ ماذا عن الأحلام أو الحالات المرضية المتنوعة؟ هل العلاقة واحدة فى الحيوانات. نتناول هذه الأمور المعقدة فى الفصل الخامس.

يتضمن استخدام الارتباطات العصبية للوعى بهذه الطريقة أننى إذا كنتُ أعى حدثًا، فلابد أن تعبر هذه الارتباطات فى رأسى عنه. **يجب وجود تناظر صريح بين أى حدث ذهنى وارتباطاته العصبية.** طريقة أخرى للتعبير عن هذا: لابد أن يرتبط أى تغير فى حالة ذاتية بتغير فى حالة عصبية.[٥٥] لاحظ أن العكس ليس صحيحًا بالضرورة؛ قد يستحيل التمييز ذهنيا بين حالتين عصبيتين مختلفتين من حالات الدماغ.

يحتمل ألا يتم التعبير عن الارتباطات العصبية للوعى فى النشاط الشوكى لبعض الخلايا العصبية لكن، ربما، فى تركيز أيونات الكالسيوم الحر داخل الخلية فى التفريعات الشجرية بعد المشبكية فى الخلايا المستهدفة،[٥٦] أو رفاق غير مرئيين للخلايا العصبية، خلايا الربط glia، التى تدعم الخلايا العصبية وترعاها وتحافظ عليها وعلى بيئاتها فى الدماغ، قد تتدخل مباشرة (مع ذلك بشكل غير المرجح).[٥٧] لكن مهما تكن الارتباطات، يجب أن تتشكل مباشرة، وليس بشكل غير مباشر، على الإدراك الواعى لأن الارتباطات العصبية للوعى كل المطلوب لتلك الخبرة الخاصة.

ربما ترتبط الارتباطات العصبية للوعى بنوع خاص من النشاط فى مجموعة أو أكثر من الخلايا العصبية مع خصائص دوائية وتشريحية وفيزيائية حيوية ينبغى أن تتجاوز حدا معينا لقدر أدنى من الوقت.

كما أرى فى الفصل الرابع عشر، من غير المحتمل تمامًا أن الوعى مجرد ظاهرة ثانوية. يعزز الوعى إلى حد ما بقاء حامله على قيد الحياة، مما يعنى أن نشاط الارتباطات العصبية للوعى يؤثر على خلايا عصبية أخرى بطريقة ما. ويؤثر هذا النشاط لما بعد الارتباطات العصبية للوعى على الخلايا العصبية الأخرى التى تسبب فى النهاية سلوكا ما. ويمكن لهذا النشاط أن يزود أيضًا

بشكل رجعى خلايا الارتباطات العصبية للوعى وللمراحل السابقة فى التدرج الهرمى، بمواد معقدة إلى حد بعيد.

يكوِّن اكتشاف الارتباطات العصبية للوعى خطوة رئيسية إلى الأمام على الطريق لفهم نهائى للوعى. يمكِّن تعريف الارتباطات العصبية للوعى علماء الأعصاب من ركيزتها الخلوية على أساس التدخل الدوائى والمعالجة الجينية. وربما يمكن إنتاج فئران معدلة وراثيا تُشغِّل فيها الارتباطات العصبية للوعى وتُوقف بسرعة وأمان. أى تصرفات يمكن أن تقوم بها هذه القوارض الزومبية؟ سوف تتدفق الفوائد الإكلينيكية من هذا الاكتشاف أيضًا، مثل فهم أفضل للأمراض الذهنية وتصميم أدوية تخدير جديدة وأقوى، بأعراض جانبية أقل.

فى النهاية نحتاج إلى نظرية تعبر الفجوة التفسيرية وتفسر ما يجعل نشاطًا فى مجموعة ثانوية من الخلايا العصبية أساسًا لمشاعر معينة (وربما مماثلا لها). وتحتاج هذه النظرية إلى فهم ما يجعل النشاط ذا معنى للكائن (على سبيل المثال، لماذا يؤذى؟) ولماذا تبدو الكوليا بهذا الشكل (على سبيل المثال، لماذا يبدو الأحمر بشكل ما مختلفًا تمامًا عن الأزرق؟). [٥٨]

على طول الطريق، تحتاج المناظرة العظيمة التى تحتدم حول مسألة العلاقة الدقيقة بين الأحداث العصبية والذهنية إلى حل. تؤكد النزعة الفيزيائية تماثل الاثنين،[٥٩] وأن الارتباطات العصبية للوعى بإدراك الأرجوانى هى الأرجوانى. لا يتطلب الأمر شيئا آخر. يقاس الأول بأقطاب مجهرية، وتدرك الأدمغةُ الأخيرَ. ثمة تماثل مميز مع حرارة الغاز ومتوسط الطاقة الحركية لجزيئات الغاز. الحرارة متغير جلى يسجل بالترمومتر، والطاقة الحركية متغير مجهرى يتطلب مجموعة مختلفة تماما من الأدوات لدراسته. لكن الاثنين متماثلان. ومع أنهما يبدوان، سطحيا، متميزين تماما، تكافئ الحرارة متوسط الطاقة الحركية للجزيئات. كلما زادت سرعة الجزيئات ارتفعت الحرارة. لا معنى للحديث عن حركة جزيئية سريعة تنتج حرارة كأن الأولى سبب والثانية نتيجة. كل منهما كافٍ وضرورى للآخر.[٦٠]

عند هذه النقطة، لستُ متأكدا إن كان هذا النوع من الهوية القوية يصلح للارتباطات العصبية للوعى والمُدْرَك المرتبط بها. هل هما حقا واحد والشىء

ذاته، ينظر إليهما من منظور مختلف؟ تبدو خصائص حالات الدماغ والحالات الظاهرية مختلفة بدرجة لا تجعل اختزال كل منها فى الأخرى ممكنًا تماما. أظن أن العلاقة بينهما أكثر تعقيدًا مما ظُنَّ عادة. حاليا، من الأفضل أن نبقى الذهن مفتوحا فى هذا الموضوع ونركز على تحديد ارتباطات الوعى فى الدماغ.

١ ـ ٥ الملخص

يكمن الوعى فى صلب مشكلة العقل والجسد. يبدو غامضًا لدارسى القرن الحادى والعشرين كما كان عندما تساءل البشر أول مرة عن عقولهم منذ آلاف السنين، لكن العالم اليوم فى وضع أفضل مما كان فى أى وقت لفحص الأساسْ الفيزيائى للوعى.

مقاربتى مباشرة، يعتبرها كثير من زملائى ساذجة أو طائشة. أتناول الخبرة الذاتية كما هى وأفترضُ أن نشاط الدماغ ضرورى وكافٍ للكائن البيولوجى ليشعر بشىء. لا يتطلب الأمر شيئًا آخر. أبحث عن الأساسٍ الفيزيائى للحالات الظاهرية فى خلايا الدماغ، وتنظيمها ونشاطها. غايتى معرفة الطبيعة الخاصة لهذا النشاط، الارتباطات العصبية للوعى، وتحديد مدى اختلاف هذه الارتباطات عن النشاط الذى يؤثر فى السلوك دون أن يفتن الوعى.

يركز هذا الكتاب على الأشكال الحسية للوعى ـ وعلى البصر خاصة، أكثر من الوجوه الأخرى للإحساس، يذعن الوعى البصرى للفحص الإمبريقى. الانفعالات واللغة والإحساس بالذات والآخرين حاسمة فى الحياة اليومية، لكن هذه الأوجه للوعى تُترَك لما بعد، حين تُفهَم الأسس العصبية للوعى بشكل أفضل. بشكل مماثل للبحث عن فهم الحياة، من المرجح أن يساعد اكتشاف العمليات الجزيئية والفيزيائية الحيوية والفسيولوجية العصبية وتمييزها فى حل اللغز الأساسى، كيف يمكن للأحداث فى أجهزة معينة مميزة أن تكون الأساس الفيزيائى للمشاعر، أو حتى تكون المشاعر ذاتها.

قد يناقض الاعتقادُ بأن الوعى خاص بالبشر استمراريةَ التطور. أفترضُ أن عقل الإنسان يشترك فى خصائص أساسية مع عقول الحيوانات، وخاصة مع الثدييات مثل القرود والفئران. أتجاهلُ المناظرات التافهة حول التعريف الدقيق

للوعى وما إن كان حبلى الشوكى يعى أم لا ولكنه لا يخبرنى. هذه الأسئلة يجب الرد عليها فى النهاية، لكنها اليوم تعوق التقدم فقط. لا تكسب الحرب بخوض المعارك الأكثر ضراوة فى البداية.

سنقع فى أخطاء فادحة وتبسيط مفرط فى سياق هذا المشروع المستمر الإمبريقى طويل المدى، ولن يتضح هذا إلا بمرور الوقت. حاليا، ينبغى على العلم الارتفاع إلى مستوى التحدى وكشف أساس الوعى فى الدماغ. مثل المشهد غير الواضح جزئيا لقمة جبل مغطى بالجليد فى أول صعود له، لا يمكن مقاومة إغراء فهم هذا اللغز. كما أشار لاو تسو Lao Tsu منذ سنوات طويلة: "تبدأ رحلة الألف ميل بخطوة."

الآن وقد بدأنا، أطلعك على بعض المفاهيم الأساسية التى ترشد بحثنا. أريد، بشكل خاص، إضافة مفاهيم التصورات العصبية الصريحة والضمنية، والعقد الأساسية، ومختلف أشكال النشاط العصبى.

الهوامش:

(١) توماس ناجل Nagel (١٩٣٧ -): فيلسوف أمريكى، من مواليد بلجراد ، و"ماذا يعنى أن تكون مضربا ?What Is It Like to be a Bat مقال كتبه سنة ١٩٧٤ (المترجم).

(٢) توماس مان Mann (١٨٧٥ - ١٩٥٥): كاتب ألمانى. نشر "اعترافات فليكس كرول، رجل ثقة "Confessions of Felix Krull, Confidence Man"، سنة ١٩٥٤ (المترجم).

(٣) كلمة الوعى consciousness مشتقة من الكلمة اللاتينية conscientia، وتتكون من cum (مع أو معا)،) scire يعرف). حتى أوائل القرن السابع عشر، كانت كلمة الوعى تستخدم بمعنى المعرفة الخلقية للصواب أو الخطأ، وهو ما يشار إليه اليوم بالضمير .conscience

(٤) لم يظهر استخدام متفق عليه لمصطلحى الموضوعية والذاتية عبر حقول المعرفة. أتبنى التقليد التالى خلال هذا الكتاب. الكشف detection والسلوك behavior مصطلحان موضوعيان يمكن تفعيلهما (انظر Dennett, 1991)، كما فى "تكشف الشبكية الوميض الأحمر، وتضغط المشاهدة إصبعها استجابة له." يمكن حدوث الكشف والسلوك فى غياب الوعى. وأستخدم الإحساس والإدراك والرؤية والخبرة والعقل والمشاعر بمعانيها الذاتية كما فى "إحساس واعٍ"، إلخ. فى موضوع التقليد شىء آخر. خلال الكتاب أستخدم awareness و consciousness (أو aware و conscious) بمعنى واحد. يميز بعض الأكاديميين بين الاثنين على أسس وجودية (Chalmers, 1996) أو تصورية (Block, 1995) أو نفسية (Tulving, 1995). وهنا، لا يوجد دليل إمبريقى يبرر هذا التمييز (انظر، مع ذلك، Lamme, 2003) ربما أنقح هذا الرأى فى المستقبل. بحذر، لا تشجع الأدبيات العلمية المعاصرة استخدام consciousness، بينما تحظى awareness بالقبول. وهذا انعكاس لميول اجتماعية أكثر مما هو انعكاس لبصيرة عميقة.

(٥) العلاقة الدقيقة بين الكوليا والمعنى غير واضحة (انظر أنثولوجيا Chalmers, 2002).

(٦) بالتحديد لا أعرف إن كنتَ واعيا أم لا. ربما حتى تكون زومبيا! لكنك تتصرف وتتحدث مثلى بالضبط؛ لأن دماغك مماثل لدماغى؛ ولأننا مشتركان فى الإرث التطورى نفسه، أفترضُ بفهم أنك واعٍ أيضًا. لا يكفى، حاليا، فهمنا العلمى للوعى لإثبات ذلك، لكن كل شىء عن العالم الطبيعى يتوافق مع هذه الفرضية. تنكر نظرية الإيمان العقلى بالذات

وحدها هذا وترى الشخص نفسه شعوريا حقا وكل الآخرين زومبيون. يبدو هذا غير مستساغ وعشوائى إلى حد ما. لكن لماذا أتفرد أنا، دون كل الناس فى العالم، بالوعى؟

(٧) عوامل زومبية zombic agents: انظر المصطلحات والفصلين ١٢، ١٣ (المترجم).

(٨) ربما لا أستطيع الحكم بدقة على الطبيعة المعقدة لهذه المناقشات. من الضرورى أن يرجع أى شخص مهتم بالانعطافات والتحولات الدقيقة إلى مقتطفات Block, Flanagan and Metzinger, 1995. 1997 يفحص كتاب الفيلسوف Patricia Churchland, 2002 مختلف أوجه مشكلة العقل والجسد بالتأكيد على علم الأعصاب وثيق الصلة. وأوصى أيضًا بالدراسة الدقيقة والسهلة Searle, 1997. للرجوع إلى أصداء هذه المناقشات بين رجال اللاهوت، انظر براون Brown, Murphy and Malony1998 والمفكر McMullin, 2000.

(٩) لأنى تربيت فى أسرة كاثوليكية رومانية مخلصة، أتعاطف كثيرا مع هذا الرأى، يستكشف كتاب Flanagan, 2002 هذا الصدام بين مفهوم الروح (والإرادة الحرة) والرأى العلمى الحديث الذى يميل إلى إنكار الاثنين (انظر أيضا Murphy, 1998).

(١٠) كارل بوبر Popper (١٩٠٢ ـ ١٩٩٤): فيلسوف بريطانى من أصول نمساوية. جون إكلز Eccles): (١٩٠٣ ـ ١٩٩٧) : عالم أسترالى، حصل على نوبل فى (١٩٦٣) (المترجم).

(١١) فضاء خاص hyperspace: فضاء بأكثر من ثلاثة أبعاد (المترجم).

(١٢) رأى Popper and Eccles, 1977 أن التفاعلات بين الدماغ والروح تتلون بمبدأ الشك عند هيزينبرج، وطبقًا له يستحيل أن نعرف بدقة فى الوقت ذاته وضع جسيم مجهرى، مثل الإلكترون، وزخمه. فى ١٩٨٦، افترض إكلز أن العقل الواعى يتعارض مع احتمالية تحرر الحويصلات فى المشابك بطريقة لا تنتهك المحافظة على الطاقة وتكفى للتأثير على تصرف الدماغ. لم تُستقبَل هذه الأفكار بحماس فى الأوساط العلمية. لكن المبشر فى دراسة Popper and Eccles, 1977 التعامل مع الوعى بجدية. افتراض أن الأحاسيس نتاج تطور يصبح بحثا عن وظيفة (انظر على سبيل المثال Eccles, 1991). وكان هذا رأيا لافتا بعد عدة عقود من النزعة السلوكية التى أهملت الوعى تماما.

(١٣) جيلبرت رايل Gilbert Ryle (١٩٠٠ ـ ١٩٧٦) : فيلسوف بريطانى (المترجم).

(١٤) ينشأ مصطلح الملتبس mysterian مع Flanagan, 1992، فقد استخدمه لتمييز مقاربات Lucas, 1961؛ Nagel, 1974؛ McGinn, 1991.

(١٥) دانيال دينيت Dennett (١٩٤٢ ـ) فيلسوف أمريكى (المترجم).

(١٦) لا يعترف تعليق الشخص الثالث إلا بالأحداث الموضوعية، من قبيل ضوء بطول موجى معين يسقط على الشبكية، مما يجعله يتعجب "أرى الأحمر". ويهتم تعليق الشخص الأول بالأحداث الذاتية، مثل الإحساس بالأحمر. مؤخرا سمَّى فرنسيسكو فريلا برنامج تخطيط خبرات الشخص الأول على الدماغ علم الظواهر العصبية (Varela, 1996).

(١٧) أحيل القارئ إلى كتاب Dennett, 1991؛ Dennett and Kinsbourne, 1992. انظر Ryle, 1949 للاطلاع على سابقة فى التقاليد السلوكية. لتحديث فى آرائه، راجع Dennett, 2001. يستهدف Dennett, 1991 بشكل صائب، مفهومًا لمسرح ديكارتى، موضعًا واحدًا فى الدماغ، حيث يجب أن يحدث الإدراك الواعى (لاحظ أن هذا لا يستبعد احتمال وجود مجموعة منتشرة من العمليات العصبية التى تعبر عن الوعى فى أى لحظة). يفترض نموذج مخططات متعددة لتفسير مختلف الأوجه المحيرة للوعى، مثل الدور غير الحدسى للزمن فى تشكيل الخبرة. تتميز كتابة دينيت ببراعة الاستعارات والتشبيهات الحيوية، ويعبر عن شغفه بها صراحة. من الصعب أن ننسبها إلى آليات عصبية معينة.

(١٨) هذه مياه عميقة. يرد دينيت بأن المشاعر التى تقبل ببراءة باعتبارها حقائق يجب تفسيرها تقدم رهينة للحظ؛ أى أن الحديث عن كوليا حقيقية حركة أيديولوجية إلى حد بعيد تشبه أن نفترض مقدما وجود "سحر حقيقى"، مفعما بنتائج معرفية (Dennett, 2004)

(١٩) روجر بنروز Penrose (١٩٣١ ـ) : فيزيائى إنجليزى (المترجم).

(٢٠) ستوارت همروف Hameroff (١٩٤٧ ـ): طبيب تخدير أمريكى (المترجم).

(٢١) الأنابيب الدقيقة microtubules: بنى أنبوبية دقيقة توجد فى سيتوبلازم الخلايا، تتكتل أحيانا لتشكل بنى أكثر تعقيدا. سيتو هيكلية cytoskeletal: شبكة دقيقة من خيوط البروتين فى سيتوبلازم كثير من الخلايا الحية، تعطيها شكلا وتماسكا (المترجم).

(٢٢) كتابا بنروز (Penrose, 1989, 1994) من أوضح ما قرأتُ من تعليقات مكتوبة وأفضلها عن ماكينات تورنج، ونظريات جودل Gödel، والحساب، والفيزياء الحديثة. مع ذلك، إذا وضعنا فى الاعتبار أن الدراستين تتناولان عقل الإنسان ودماغه، فإنهما لافتتان بشكل متساوٍ فى الغياب شبه التام لمناقشة جادة لعلم النفس أو علم الأعصاب. يوضح Hameroff and Penrose,1996 فرضيتهما بأن الأنابيب الدقيقة، وهى مكون أساسى للدعامات الخلوية، أساسية للعمليات المؤسسة للوعى. كعب أخيل هذه الفكرة غياب آلية فيزيائية حيوية تسمح للخلايا العصبية، وليس فقط أية خلايا فى الجسم، بأن تشكل بسرعة ائتلافات خاصة جدا عبر مناطق كثيرة من الدماغ على أساس تأثيرات التماسك الكمى. من المفترض أن يحدث هذا كله، بالطبع، فى درجة حرارة الجسم، بيئة عدائية إلى حد ما بالنسبة للتماسك الكمى المستمر على المتاييس الدقيقة. انظر Grush and Churchland, 1995 للاطلاع على نقد مؤثر.

(٢٣) تشالمرز Chalmers (١٩٩٦ ـ): فيلسوف أسترالى متخصص فى فلسفة العقل (المترجم).

(٢٤) بانسيكزم panpsychism: اعتقاد بأن كل ما هو مادى، مهما صغر، فيه عنصر من الوعى الفردى (المترجم).

(٢٥) أوصى بشكل محدد على الأقل بتصفح كتاب Chalmers,1996 ، وخاصة الفصل الثامن. لمقاربة نظرية للوعى مؤسسة على مقاييس التعقيد ونظرية المعلومات، انظر Tononi and Edelman, 1998 ;Edelman and Tononi, 2000. يفحص Nagel, 1998 البانسيكزم.

(٢٦) مانفستو هذه الحركة O'Regan and Noë, 2001. انظر أيضًا Järvilehto, ;Noë, 2004 2000.تتمثل السوابق التاريخية للحركة النشطة فى الفلسفة وعلم النفس فى -Merleau Ponty, 1962; Gibson, 1966، بالتتابع.

(٢٧) تتحرك العينان، بالطبع، فى الفترات التى تنشط فيها الأحلام بقوة. يستعرض Revonsuo, 2000; Flangan, ٢٠٠٠ الوظائف الشكلية والمفترضة لمحتوى الحلم.

(٢٨) ثمة شكل مؤقت من الشلل من الخصائص المميزة للناركوليبسى narcolepsy، اضطراب عصبى. نتيجة انفعال قوى- ضحك، ارتباك، غضب، إثارة - يفقد الشخص المصاب فجأة تناغم عضلاته الهيكلية ولا يفقد الوعى. هذه النوبات الكتابليكتية cataplectic يمكن أن تستمر دقائق وتترك المريض منهارا على الأرض، عاجزا تمامًا عن الحركة أو الإشارة، لكنه يعى تماما ما يحيط به (Siegel, ;Guilleminault, 1976 - 2000).

(٢٩) الشكل الأكثر درامية منها هو متلازمة الانحباس locked-in syndrome Feldman, 1971؛ انظر أيضًا Celesia, 1997). لنتناول حالة جان دومينيك بوبى Jean-Dominique Bausby، محرر مجلة الموضة الفرنسية Elle، الذى لم يتبق فيه شىء سوى القدرة على تحريك عينيه إلى أعلى وأسفل بعد سكتة دماغية شديدة. ألف كتابا كاملا عن خبراته الداخلية باستخدام حركات عينيه شكلا من أشكال شفرة مورس Morse code. كتاب بوبى الصادر سنة ١٩٩٧ بعنوان "Le Scaphandre et la Papillon" (جرس الغوص والفراشة (The Diving-Bell and the Butterfly) كتاب رائع وملهم بشكل غريب كُتب فى ظروف مرعبة. إذا كانت آخر رابطة لبوبى مع العالم، الحركات العمودية لعينيه، قُطعت، فقد حكم عليه بأن يحيا حياة واعية تماما وهو يبدو ميتا تماما! يدرك هو ومرضى آخرون من هذا النوع العالم بوعى، رغم أن هذا لم يدرس قط بشكل منهجى. المدمنون المجمدون frozen addicts، ويشار إليهم فى هامش فى الفصل السابع، برهان آخر حى على أن الانعدام الكامل للحركة يمكن أن يوجد مع الوعى.

(٣٠) يكون للجهاز خصائص منبثقة إذا كانت أجزاؤه لا تتمتع بهذه الخصائص. لا توجد معانٍ إضافية سرية جديدة فى هذا. بهذا المعنى، تنبثق قوانين الوراثة من الخصائص الجزيئية للدنا DNA والجزيئات الكبيرة الأخرى، أو ينبثق استهلال جهد الفعل وامتداده فى ألياف المحاور من خصائص القنوات الأيونية المعتمدة على القوة الكهربية

المغروسة فى الغشاء العصبى. للاطلاع على مقدمة عامة عن مشكلة الانبثاق، انظر Beckerman Flohr, and Kim, 1992.

(٣١) النزعة الحيوية vitalism: نظرية ترى أن أصل الحياة وظواهرها تعتمد على قوة أو مبدأ مميز عن القوى الكيميائية أو الفيزيائية الخالصة (المترجم).

(٣٢) شرودينجر Schrödinger (١٨٨٧ ـ ١٩٦١): فيزيائى نمساوى، حصل على نوبل عام ١٩٣٣ (المترجم).

(٣٣) باتسون Bateson (١٨٦١ ـ ١٩٢٦): عالم بريطانى من مؤسسى علم الجينات (المترجم).

(٣٤) مورجان Morgan (١٨٦٦ ـ ١٩٤٥): عالم أمريكى، حصل على نوبل عام ١٩٣٣ (المترجم).

(٣٥) كروماتين chromatin: مادة تتكون منها الكروموسومات ذات النوى الحقيقية، تتكون من دنا DNA وبروتين (إضافة إلى RNA فى أوقات معينة) (المترجم).

(٣٦) نكليوتيدات nucleotides: مركب يتكون من نكلوسايد nucleoside مرتبط بمجموعة فوسفات مكونا الوحدة البنيوية الأساسية للأحماض النووية (المترجم).

(٣٧) ماكس دلبروك Delbrück (١٩٠٦ ـ ١٩٨١): عالم أمريكى من أصول ألمانية، حصل على نوبل مشاركة فى ١٩٦٩ (المترجم).

(٣٨) جون سيرل John Searle (١٩٣٢ ـ) فيلسوف أمريكى (المترجم).

(٣٩) يتجاهل التعريف، المأخوذ عن Searle, 1997، مجالا كاملا من خبرات الوعى لا تُتذكَّر عادة: الأحلام المفعمة بالحيوية التى لا يمكن تمييزها عن الحياة الواقعية. ثمة تعريفات أكثر إحكاما لكنها ليست أكثر فائدة. على سبيل، يقول Schiff and Plum, 2000 ، طبيبا أعصاب عالجا مرضى مصابين بأمراض عصبية شديدة: "يتكون الوعى الإنسانى العادى، فى أصغر صوره، من شعور بالذات والبيئة يخضع للزمن بشكل مسلسل، ومنظم، ومحدود وانعكاسى. إضافة إلى ذلك، إنه خبرة تتسم بتدرج التعقد والكمية." ومع أن هذا التعريف مفيد إكلينيكيا فإنه يفترض سلفا مفاهيم الشعور والذات، إلخ. وقاموس أكسفورد الإنجليزى ليس أفضل حالا، يضع ثمانى مواد تحت "وعى" واثنتى عشرة تحت "واع".

(٤٠) الإنترون intron: جزء من جزىء DNA أو RNA لا يشفر البروتينات ويعوق تسلسل الجينات (المترجم).

(٤١) للاطلاع على تأرجح تاريخ مصطلح "الجينات" انظر Keller, ٢٠٠٠؛ Ridley, 2003. للاطلاع على دور التعريفات فى العلم انظر Churchland, 1986, 2002، وخصوصا مقال Faber and Churchland, 1995.

(٤٢) بضع كلمات على ما يقرب من ٢٠٠ نوع من الرئيسات، لا يمثل البشر إلا نوعا منها. تنقسم رتبة الرئيسات إلى رتبتين فرعيتين ما قبل القرود prosimians وأشباه البشر anthropoids وتشمل القرود والقردة العليا والبشر. توجد فصيلتان رئيسيتان من

القرود، لهما توزيع جغرافى مميز، قرود العالم الجديد وقرود العالم القديم. قرود العالم القديم، وتشمل البابون baboons والقرد الأسيوى، ولها أدمغة أكبر وأكثر تطورا من قرود العالم الجديد، تُربَّى بسهولة فى الأسْر وليست معرضة للخطر. وتعتبر نظاما نموذجيا لتنظيم دماغ الإنسان. الغوريلا وإنسان الغابة، نوعان من الشمبانزى تشكل القردة العليا العظيمة. وإذا وضعنا فى الاعتبار قدراتها المعرفية المتطورة جدا وقرابتها للبشر، تُجرَى أبحاث اقتحامية قليلة على القردة العليا. معظم ما هو معروف عن أدمغتها ينبثق من دراسات ما بعد الوفاة.

(٤٣) انشطار الدماغ split-brain: الدماغ الذى قطعت فيه بين نصفى الدماغ (المترجم).

(٤٤) شاع الاعتقاد بأن البشر وحدهم واعون والحيوانات مجرد كائنات آلية، ومن أشهر مؤيديه ديكارت، على نطاق واسع. بعد داروين وظهور التفسيرات التطورية، لم يعد الوضع كذلك. ورغم ذلك يرى البعض حتى اليوم اللغة شرطًا ضروريا للوعى (Macphail.1998). Griffin, 2001 المرجع الكلاسيكى لفحص الوعى فى المملكة الحيوانية.

(٤٥) عمى الجليد snow blindness: حالة تنتج عن تعرض العين للأشعة فوق البنفسجية وتتميز بالألم وكثرة الدموع (المترجم).

(٤٦) شوبنهور Schopenhauer (١٧٨٨ ـ ١٨٦٠): الفيلسوف الألمانى الشهير (المترجم).

(٤٧) اكتشف Bonneh, Cooperman and Sagi, 2001 عمى الحركة.

(٤٨) دلبروك Delbrück (١٩٠٦ ـ ١٩٨١): عالم أمريكى من أصول ألمانية (المترجم).

(٤٩) إريك كندل Kandel (١٩٢٩ ـ) : عالم أمريكى من مواليد النمسا، حصل على نوبل مناصفة سنة ٢٠٠٠ (المترجم).

(٥٠) أنطونيو دمازيو Damasio (١٩٤٤ ـ) : طبيب وعالم أعصاب برتغالى، يعيش ويعمل فى الولايات المتحدة (المترجم).

(٥١) انظر كتاب Damasio, 1999. وتوجد صياغة قوية لأفكاره فى Damasio, 2000. يرى السيكولوجى المعرفى إندل تولفنج Endel Tulving فى جامعة تورنتو أن المُدرَكات تشتمل على وعى عقلى noetic (معرفة)، مقابل وعى عقلى ذاتى autonoetic (معرفة ذاتية) يميز الذاكرة العرَضية (Tulving, 1985) ويشير Edelman and Tononi, 2000 إلى الوعى الأولى رفيع المستوى، ويشير بلوك Block إلى الوعى الظاهرى من ناحية والوعى الانعكاسى والذاتى من ناحية أخرى (Block, 1995).

(٥٢) خبرة الانفصال عن الجسم: خبرة تتضمن الإحساس بالطفو خارج الجسم (المترجم).

(٥٣) يصف Blackmore, 1982؛ Grüsser and Landis, 1991؛ Blanke et al., 2002 خبرات الانفصال عن الجسد من منظور علم النفس وطب الأعصاب، وهى ظاهرة فاتنة لم

تكن معروفة، حتى وقت قريب، إلا لمتصوفة العصر الجديد. الهلوسة، وهى مدركات تتولد داخليا فى حالة اليقظة لا يمكن تمييزها عن المدركات المولّدة داخليا، سمة مميزة للفصام واضطرابات ذهنية أخرى. يستكشف أساسها العصبى بتصوير الدماغ Frith, 1996 :Flytche et al., 1998 :Manford and Ander mann, 1998 : Vogeley, 1999).

(٥٤) أتبعُ التقسيم الثلاثى لدماغ الفقاريات إلى مقدم الدماغ والدماغ المتوسط ومؤخر الدماغ. يتكون مقدم الدماغ، عموما، من اللحاء الجديد والعقد القاعدية وقرن آمون واللوزة وبصيلة الشم، والمهاد والبنى المتصلة به. ويشمل مؤخر الدماغ الجسر والنخاع والمخيخ.

(٥٥) يتضمن هذا عدم وجود وعى فى غياب حامل فيزيائى. بإيجاز: لا عقل بلا مادة.

(٥٦) فرضية أن الارتباطات العصبية للوعى ترتبط بقوة بعمليات تحت خلوية subcellular ليست غريبة كما قد تبدو. عرف علماء الفيزياء الحيوية الخلوية فى السنوات الأخيرة أن انتشار أيونات الكالسيوم فى الخلايا العصبية يمثل متغيرا حاسما لمعالجة المعلومات وتخزينها (Koch, 1999). تدخل أيونات الكالسيوم الشوكات والتفريعات الشجرية عبر قنوات يتحكم فيها فرق الجهد. يؤدى هذا مع انتشارها وتنقيتها وخروجها من المخازن داخل الخلية إلى تعديلات موضعية سريعة فى تركيز الكالسيوم. قد يؤثر تركيز الكالسيوم، بدوره، على جهد الغشاء (عن طريق موصلات غشائية تعتمد على الكالسيوم) وتفتح أو تغلق ـ بالاتحاد مع المرشحات والإنزيمات ـ مسارات الإشارة داخل الخلية التى تستهل المرونة وتشكل أساس التعلم. تجتاز ديناميكيات الكالسيوم فى التفريعات الشجرية السميكة وفى أجسام الخلايا المقياس الزمنى الصحيح (فى حدود مئات ملى ثانية) للإدراك. وقد رسخ تجريبيا فى صرار الليل أن تركيز الكالسيوم الحر داخل الخلية فى أوميجا ما بين الخلايا العصبية omega interneuron يرتبط مع درجة حجب الصوت، تعديل يعتمد على الوقت فى حساسية السمع فى الحيوانات (Sobel and Tank, 1994).

(٥٧) خلايا الربط كثيرة مثل الخلايا العصبية لكنها تفتقر إلى سحرها. سلوكها بطىء وتظهر القليل جدا من الحساسية الدقيقة المرتبطة بالخلايا العصبية (Laming et al., 1998). مما يجعل من غير المرجح أن تلعب دورا مباشرا فى الإدراك. تظهر بعض خلايا الربط انتشار أحداث الكالسيوم التى تظهر كاملة أو لا تظهر إطلاقا، مماثلة لجهود الفعل، باستثناء أنها تحدث فى ثوان (Sanderson, 1996 :Cornell-Bell et al., 1990).

(٥٨) أدخل Levine, 1983 مصطلح "الفجوة التفسيرية". ليس هناك اتفاق على أن العلم سوف يكتشف نظرية نهائية موضوعية عن الوعى. كما برهن Chalmers et al., 1996، ربما علينا الاستقرار على تفسير فيزيائى غير اختزالى للوعى أو بثنائية وجودية بمبادئ كمية قوية تقيم جسرا يربط مجال الخبرات الذاتية بالواقع الموضوعى. الزمن وحده كفيل بأن يخبرنا.

(٥٩) النزعة الفيزيائية physicalism: مبدأ فلسفى يرى أن العالم الواقعى يتكون ببساطة من العالم الفيزيائى (المترجم).

(٦٠) توجد أدبيات فلسفية موسعة عن هذا الموضوع مع اختلافات كثيرة جدا. أحيل القارئ الحريص إلى كتابَى Patricia Churchland, 1986, 2002، اللذين يتناولان هذا الموضوع بتوسع.

الفصل الثانى

الخلايا العصبية، ذرات الإدراك

تبدو لى الفكرة واضحة جدا ورائعة جدا فأشعر بحب عميق لها.
مثل الوقوع فى حب امرأة، يستحيل إلا إذا لم تكن تعرف الكثير عنها،
بحيث لا ترى عيوبها. تتضح العيوب بعد ذلك، بعد أن يكون الحب قويا
بما يكفى ليربطك بها.

ريتشارد ب. فينمان[١]

يلاحظ العلماء العالَم بأسلوب بارد وموضوعى تمامًا. تُسجَّل كل الحقائق، وتُقدَّر قيمتُها، وإذا كانت صحيحة، تُدمَج فى أحد الصروح النظرية التى تصف الكون وكل ما فيه، مثل ميكانيكا الكم أو النسبية العامة أو الانتقاء الطبيعى.

هذا الأكليشيه صرخة بعيدة عن العادات العملية الفعلية للباحثين. هذا الرأى غير ملائم خاصة لعلم الأعصاب، محاولةٌ يافعةٌ موضوعُ دراستها، بالنسبة لحجمها، الكينونةُ الأكثر تعقيدًا فى العالم المعروف. لفهم شىء من الملاحظات المتدفقة كالطوفان من مختبرات علم الأحياء وعلم النفس حول العالم، ينبغى أن يكون لدى الباحثين فكرة أولية عما عليهم التطلع إليه. يستحيل استيعاب كل الحقائق الموجودة عن الدماغ دون مصفاة تفصل القمح عن القش. توجد بيانات كثيرة جدا، كثير منها مثير للخلاف، بشكل لا يجعل استراتيجية أخرى تسود.[٢] ينبغى أن تبقى عقول العلماء متفتحة دائما بشأن هذه الانحرافات، وإعادة فحصها دائما فى ضوء الأدلة أو البصائر الجديدة.

تتمثل المشكلة التى يتناولها هذا الكتاب فى أن الدماغ، عضو فيزيائى، يمكن أن يولِّد مشاعر، يولد مُدْرَكات شعورية. كيف يحدث هذا؟ لا يرتبط كثير من النشاط العصبى فى كل وقت بحالات ذاتية لكنه يؤثر فى السلوك. ما الفرق بين هذا النشاط والنشاط الكافى للوعى؟

الخلايا العصبية ذرات الإدراك والذاكرة والتفكير والفعل، وتشكل روابطها المشبكية وتوجه طريقة احتشاد الخلايا الفردية مؤقتا فى ائتلافات كبيرة تولِّد الإدراك. وعلى أية نظرية تفسر الأساس العصبى للوعى وصف التفاعلات الخاصة بين الخلايا العصبية على مقياس زمنى بالملى ثانية.

أغرس فكرتين هنا: الأولى، التمثيل العصبى الصريح أساسى للارتباطات العصبية للوعى. الثانية، أشكال النشاط العصبى متعددة. إذا اعتنى بالفكرتين بشكل صحيح فسوف تثمران بشكل هائل فى القدرة على تفسير السلوك العصبى.

يتطلب هذا الفصل صعودًا تصوريا شاقا. وبمجرد هضم هذه المادة يسهل تتبع معظم الأفكار المتبقية فى الكتاب. يبدأ الفصل بتمهيد، وصف موجز لطبيعة اللحاء. تحتاج إلى معرفة بعض خصائصه على الأقل، حيث تولِّد مادة الدماغ وحدها، حتى الآن على الأقل، الوعى.

٢ ـ ١ ماكينة لحاء المخ

حتى إذا بدا الدماغ للملاحظ العابر مثل قنبيط مهروس بُولغ فى طبخه، فإنه متميز بشكل هائل. إحدى الخصائص العامة لعملياته هى التنوع المذهل تماما وخصوصية الأفعال التى يقوم بها. تعالج الأجهزة الحسية أنواعًا لا نهائية تقريبًا من الصور والمشاهد والأصوات، إلخ، وتتفاعل معها بدقة كبيرة. إنها متطورة جدا، ومتخصصة إلى حد بعيد، ويمكن أن تكتسب قدرًا كبيرًا من الخبرة.

هناك مزية انتقائية قوية فى التفاعل بسرعة. القول المأثور: "عدو الجياد أفضل". ينطبق هنا: لأن تحقيق نتيجة سريعة غير دقيقة أحيانًا أفضل من العثور

على حل دقيق فيما بعد. الكائن الذى يستغرق وقته لفهم الحل المثالى ربما يهزمه منافس أسرع يعمل بنتيجة لا بأس بها. هذا مهم تمامًا إذا وضعنا فى الاعتبار أن المكونات البطيئة التى على الدماغ التعامل معها، "تتحول" بسرعة مليون مرة أبطأ من الترانزستور. ثمة مبدأ آخر عام يتمثل فى استخدام عدة طرق تقريبية جاهزة بالتوازى للوصول إلى نتيجة، بدلا من اتباع طريقة واحدة بدقة.

الوظيفة الرئيسية للحاء الحسى بناء محددات خصائص خاصة جدا، مثل خصائص الاتجاه والحركة والأوجه، واستخدامها.[٣] تكشف دراسات الحيوانات بالأقطاب المجهرية مناطق لحائية منفصلة تتخصص خلاياها فى القيام بهذه الوظائف المختلفة. على سبيل المثال، الخلايا العصبية فى المنطقة الصدغية القذالية occipital-temporal حساسة خاصة للون أو تدرج ألوان المحفزات؛ الخلايا العصبية فى المنطقة الصدغية الوسطى MT تكتشف الحركة؛ تبرمج الخلايا العصبية فى جزء من اللحاء الجدارى الخلفى حركات العين؛ وتشفر الخلايا العصبية فى اللحاء السمعى جرس الأصوات. تعزز الملاحظات الإكلينيكية لمرضى الأعصاب الرأى بأن مناطق معينة من لحاء المخ تؤدى وظائف خاصة. إذا فقد شخص بالغ منطقة من هذه المناطق بسكتة دماغية أو رصاصة أو رض من نوع آخر، قد تنتج عيوب خاصة جدا ومميزة.[٤]

مناطق اللحاء فى مؤخر الدماغ منظمة بأسلوب تدرجى غير محكم، مع وجود دستة مستويات على الأقل، يخضع كل منها للمستوى الذى فوقه. حين تستقبل مجموعة خلايا عصبية فى إحدى هذه المناطق معلومات قوية دافعة من مجموعة أدنى فى التدرج، ترسل الخلايا العصبية نتاجها إلى منطقة أخرى أو مجموعة خلايا عصبية تقع فى مستوى أعلى من التدرج (يقول علماء تشريح الجهاز العصبى إن منطقة أدنى "تمتد" إلى منطقة أعلى). لكن بفحص الأمور بالتفصيل تبدو الأمور أقل وضوحًا: لأن روابط التغذية الرجعية كثيرة، وهكذا يلتبس وضع بعض المناطق فى هذا التدرج، مع وجود طرق مختصرة.

لا يكفى المُدْخَل الحسى عادة لتفسير غير ملتبس.[٥] فى هذه الحالات، إذن، تحل مكانه شبكات اللحاء. وتقدم أفضل ما يتوقع منها، إذا وضعنا فى الاعتبار نقص المعلومات. يحدث الإحلال فى كل أنحاء الدماغ. هذا المبدأ

العام، الذى يعبر عنه عادة بأنه "قفز إلى النتائج"، يوجه الكثير من سلوك الإنسان.(٦)

أى مشهد بصرى يؤدى إلى نشاط واسع المدى فى كل أنحاء الدماغ. تكمل ائتلافات الخلايا العصبية، تشفير مختلف الأشياء فى العالم، بعضها البعض؛ أى أن ائتلافا واحدًا يجاهد لقمع نشاط الخلايا العصبية التى تشفر الأشياء الأخرى فى المشهد عن طريق الكف والعكس بالعكس. ويصح هذا خاصةً فى الأنساق العليا من الدماغ. يوجه تركيزُ الانتباه على حدث أو موضوع هذه المنافسةَ لصالح الحدث أو الموضوع الذى ينصب عليه الانتباه. (٧)

يمكن أن تشعر بهذا التنافس حين تحاول تذكر اسم أحد المعارف. قد يكون على طرف لسانك لكن، بشكل يثير الجنون، تعجز تماما عن تذكره، وتسيطر عليك أسماء أناس لا علاقة لهم بالموضوع. فجأة، بعد نصف ساعة، يندفع الاسم الصحيح إلى ذهنك. بقليل من التأمل أتوقعُ أن نشاط الدماغ المرتبط بالأسماء المشوِّشة يقمع الخلايا العصبية المسئولة عن الاسم الصحيح. حين تبهت التأثيرات طويلة المدى (بما فى ذلك التعديلات المشبكية) لهذا القمع، تنشط فى النهاية الخلايا العصبية الصحيحة ويتجسد فجأة الاسم وبشكل غير متوقع فى تلك اللحظة.

ترتبط الارتباطات العصبية للوعى ارتباطًا حميمًا بهذا القمع للتجمعات الخلوية المنافسة، ممثلة تفسيرات بديلة للمشهد. عادة يبقى ائتلاف واحد ـ الائتلاف الذى تعى خصائصَه. فى بعض الظروف ـ حين لا تتداخل التصورات العصبية ـ قد يوجد ائتلافان أو ثلاثة معا فى سلام، على الأقل لبعض الوقت. مثل هذه الميول التى تتسم بأن للفائز كل شىء لا تتضمن أن الخلايا العصبية فى الأجزاء الأخرى من الدماغ لا تبقى نشطة، آثار العقل غير الواعى.

الانتخابات استعارة للتنافس العصبى

تمثل الانتخابات الديموقراطية استعارة لهذه العمليات الديناميكية جدا. يتنافس كثير من المرشحين، تناصر كل واحد أو تعارضه ائتلافات تمثل أنصار البيئة، والنقابات المهنية، والمنشآت العسكرية الصناعية، والكنائس، والمنظمات

الحزبية، وهلم جرا. فى النهاية، يفوز ائتلاف واحد ومرشحه. يناظر النشاط المرتبط بالائتلاف الفائز حالة الوعى.

لا تختفى الائتلافات الخاسرة بعد الانتخابات، بل تواصل وتبقى نشطة وتؤثر فى السياسة. وقد تكسب أيضًا الانتخابات التالية. السياسة فى بلد ديموقراطى لعبة تنافس، مع حدوث تغيرات شديدة مع الأيام، مماثلة للتفاعلات بين الخلايا العصبية المثيرة والكابحة التى تحدث فى جزء من الثانية. وانتباهك يتجول من موضوع إلى التالى، فى البداية يكسب ائتلاف ـ تعى الموضوع الأول ـ قبل أن يقمعه ائتلاف ثانٍ ويعى عقلك الموضوع الآخر.

لا ينبغى خلط استعارة الوعى بوصفه عملية سياسية بالنموذج الميكانيكى.(٨) فهى تهدف إلى مساعدتك على معرفة تعقد الأحداث التى تحدث بين خلايا مقدم الدماغ فى علاقتها بالوعى.

٢ ـ ٢ التمثيل الصريح والتنظيم العمودى والعقد الضرورية

المبدأ الأول الذى يرشدنا هو أن الارتباطات العصبية للوعى تتطلب تمثيلا عصبيا صريحا. الخلايا التى تشفر المعلومات بطريقة ضمنية لا تكفى لمُدرَك شعورى، رغم إمكانية تأثيرها على السلوك.

عمق الحساب

قبل تفسير ما أعنيه بالضبط، أقدم مفهوم العمق المنطقى للحساب logical depth of computation. إنه مقياس من نظرية حساب عدد الخطوات الضرورية للتوصل إلى نتيجة.(٩) اعتبره عملا رياضيا دخل الحساب وتصورْ أن المتلقى يعفى من الحاجة إلى تكرار. العمق المنطقى لخلايا العقد فى الشبكية، التى تخبر خلاياها المستهدفة خارج العين بالتباينات الموضعية فى مجال رؤيتها، أقل بكثير من العمق المنطقى لمجموعة خلايا لحائية يشير نشاطها بشكل لا لبس فيه إلى وجود نمر.

جداول المد المنشورة فى الصحف الساحلية مثال لاختزال العمق المنطقى للحساب الذى على القارئ القيام به. يمكن حساب أوقات المد المرتفع والمد المنخفض وارتفاعهما، مع أول تقريب، من المواقع المدارية للأرض والقمر والشمس باستخدام قوانين نيوتن (آخذين فى الاعتبار عمق المياه فى المكان). بشكل بديل، يمكن تقديرها من البيانات السابقة عن المد. وتتطلب الطريقتان معلومات جمة وحسابات عديدة، وهى عمليات مكلفة. تعبِّر جداول المد، من ناحية أخرى، عن هذه المعلومات بدقة وجلاء، وهكذا يمكن للبحارة والقادمين للشواطئ وراكبى الأمواج surfers التعرف على البيانات بأقل تكلفة.

ما المقصود بالصريح والضمنى؟

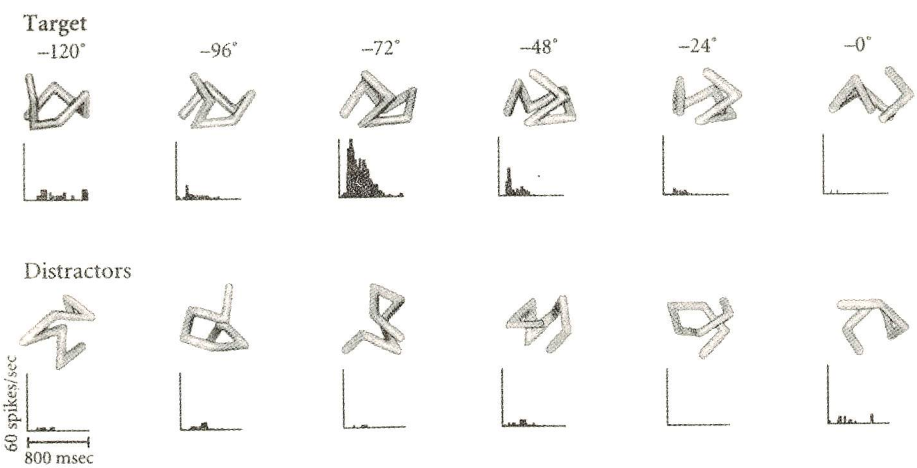
التمثيل الصريح تمثيل له عمق منطقى أكبر من التمثيل الضمنى؛ لأنه، جوهريا، مجموع كل المعلومات الضمنية.

تقدم أخبار التليفزيون صورة مماثلة. يحتوى نمط النقط الملونة على الشاشة تمثيلا ضمنيا لوجه مقدم النشرة، لكنه لا يحتوى إلا على سطوع كل عنصر مفرد من عناصر الصورة (بكسيل)،[١٠] ويُمثِّل موضعُها صراحة على شاشة التليفزيون (انظر أيضًا الشكل ٢ـ٣). على آلة حساب الرؤية أن تستنتج بالكاد وجود وجه من البكسيلات، وهى مهمة شاقة. إذا لخص الحساب فى شكل صمام ثنائى[١١] يبعث ضوءا يومض كلما ظهر وجه على الشاشة، بصرف النظر عن حجمها، ميل وجه أو تعبيره، يكوِّن تمثيلا صريحا لوجه. وُجِدتْ خلايا عصبية تسلك بشكل مماثل (الشكل ٢ـ٢ والشكل ٢ـ٤). بتعريف حقيقى،[١٢] التمييز بين الضمنى والصريح تمييز مطلق لا يعتمد على الملاحِظ.

كل المعلومات البصرية التى يمكن أن يتوصل لها الدماغ تشفرها ضمنيا الجهود الكهربية لأغشية أكثر من ٢٠٠ مليون مستقبل ضوئى فى العينين. لكن هذا الكم الهائل من المعلومات قليل الأهمية حتى تستخلص مراحل المعالجات الأعلى الخصائص ذات المغزى. العمق المنطقى لنشاط الشبكية ضحل تمامًا.

اكتشف عالم الكهروفسيولوجيا نيكوس لوجوثيتس Logothetis، وزملاؤه فى كلية بايلور Baylor فى تكساس، التشفير الصريح لقطع صغيرة ملتفة من السلك، متبعين فرضية وضعها منظِّر فى معهد ماسوشوسيت للتكنولوجيا يدعى توماسو بوجيو Poggio . دربوا قرودا آسيوية لفترات طويلة لتصبح ماهرة تمامًا فى التعرف على أى دبوس معين ملتف وتمييزه من دبابيس مماثلة. سجل العلماء حينذاك جهود الفعل من خلايا عصبية فى اللحاء الصدغى السفلى، منطقة من اللحاء رفيعة المستوى مسئولة عن الأشياء المرئية (انظر اللوحة الأمامية). يوضح الشكل ٢-١ النشاط المتأجج لخلية من هذه الخلايا.

بيانات الرسم: الهدف Target ـ المشتتات Distractors



الشكل ٢ـ١ **التشفير الصريح فى مستوى الخلية العصبية الواحدة:** النشاط المتأجج فى خلية عصبية فى اللحاء الصدغى السفلى لقرد مدرب على التعرف على الأشياء المصنوعة من إطار سلكى. الاستجابة المتوسطة موضحة تحت الصورة التى يراها الحيوان. تتأجج الخلية بقوة لمشهد معين لدبوس معين. أدرِ هذا الهدف ٢٤ درجة أو أكثر بعيدًا عن المشهد المفضل، يقل تفريغ الخلية. تفشل دبابيس مثنية بطرق مختلفة فى إثارة الخلية العصبية. معدَّل عن .Logothetis and Pauls, 1995

حين شوهد مشبك الورق من نقطة أفضلية معينة، تأججت الخلية العصبية بقوة. وعند إدارة الدبوس بعيدا عن الزاوية المفضلة للخلية، قلت استجابة الخلية. الدبابيس المثنية بطرق مختلفة، رغم تشابهها بما يكفى لأن تبدو بالشكل نفسه للعين غير المدرَّبة، لم تثر إلا استجابة ضئيلة من الخلية، كما هو الحال مع صور أشياء أخرى. حوالى خلية من كل عشر خلايا سجل منها لوجوثتيس تأججت بهذه الطريقة الانتقائية جدا. عموما، مثلت هذه الخلايا مشابك الورق بطريقة صريحة.(١٢)

ينبغى أن يكون التمثيل الصريح ثابتا لأوجه المُدْخَل الذى لا ينقل معلومات معينة عن الخاصية التى يُرمَز لها. أى ينبغى أن تبقى الخلية انتقائية، بصرف النظر عما إذا كان ضوء الغرفة خافتًا أم ساطعًا، إذا كان الدبوس بعيدا أم قريبًا، إذا كان القرد يمشى ورأسه لليسار أم لليمين، إلخ. يضمن هذا المستوى من الثبات ضرورة التغاضى عن المعلومات (على سبيل المثال، شدة ضوء الخلفية). القاعدة العامة أنه كلما توغل المرء أكثر فى اللحاء قل اهتمام الخلايا العصبية بالموضع الدقيق للمحفز أو اتجاهه أو حجمه، وزادت المعلومات المهملة، وزاد العمق المنطقى لحساب الخلية العصبية.

من كل تريليونات الخلايا الموجودة فى جسم الإنسان، أقلية ضئيلة لها هذه القدرة المذهلة على تشفير صريح للأوجه المهمة للعالم الخارجى. تتغير خلايا الكبد أو الكلية أو العضلات أو الجلد استجابة للاختلافات فى البيئة، لكن هذه المعلومات لا تكون صريحة أبدًا.

لا يتضمن كلامى أن كل التصورات الصريحة تساهم فى الإدراك الواعى. إن التمثيل الصريح ضرورى لكنه شرط غير كافٍ للارتباطات العصبية للوعى.

التنظيم العمودى للحاء

من أسس التمييز بين الصريح والضمنى أن التنظيم العمودى خاصية فريدة للحاء الحسى. لمعظم الخلايا العصبية الممتدة عموديا فى عمود على غشاء اللحاء، من القمة إلى القاع، بسمك بضعة مليمترات، خاصية مشتركة أو أكثر. على سبيل المثال، تشفر الخلايا المتراكمة بعضها فوق البعض فى اللحاء البصرى

الأولى اتجاه التنبيهات البصرية (على سبيل المثال، كل ما له اتجاه قطرى) فى منطقة معينة من الفضاء البصرى، بينما يمثل عمود من الخلايا فى المنطقة الصدغية الوسطى اتجاها معينا للحركة (على سبيل المثال، كل ما يتحرك اتجاه اليمين). لا تنتظم الخلايا العصبية بشكل عشوائى فى الدماغ لكنها تجتمع طبقا لمبادئ منظمة يكشف عنها علماء الأعصاب جزءًا جزءا. [١٤]

أظن أن الخاصية الممثلة فى هذا الطراز العمودى خاصية صريحة. هكذا، تعبر خلايا اللحاء البصرى الأولي عن اتجاه الرؤية بطريقة صريحة، وخلايا المنطقة الصدغية المتوسطة عن اتجاه الحركة ومقدارها. التشفير الصريح والتنظيم العمودى مفهومان متميزان. لا يوجد سبب منطقى لضرورة تنظيم الخلايا العصبية التى تشفر الحركة صراحة، على سبيل المثال، فى طراز عمودى. لكن - ربما لتقليل طول الشبكة المحوربة إلى أقصى حد - [١٥] يبدو أن هاتين الخاصيتين المعماريتين تسيران جنبا إلى جنب.

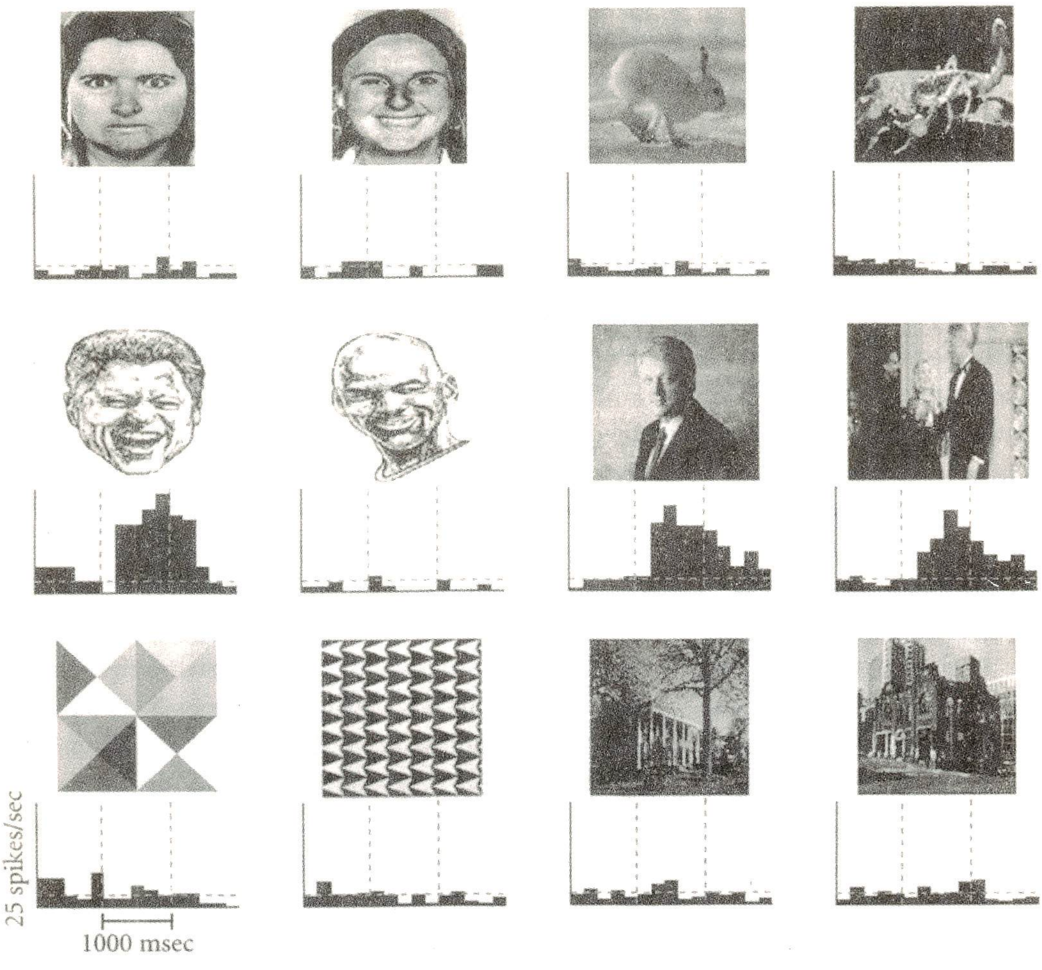
من خلايا الجدة إلى التشفير العام

ثمة شكل متطرف من التمثيل الصريح وهو الخلايا العصبية التى تستجيب لشىء أو مفهوم معين، وله وحده. توصف هذه الخلايا الخاصة جدا بأنها **خلايا الجدة** grandmother neurons : تنشط فى كل مرة ترى فيها جدتك لكنها لا تنشط حين تتطلع إلى جدك أو أية امرأة عجوز بشكل عشوائى. يمكن أن يمثل النشاط المشترك لبضع مجموعات من الخلايا العصبية، تقليديا، أى مقترح معقد، مثل جدة مبتسمة أو راقصة أو نظارة الجدة[١٦].

أثيرت كل أنواع الاعتراضات على فكرة استجابة الخلايا العصبية لأفراد معينين، لكن هذه الخلايا موجودة. يوضح الشكل ٢-٢ نشاطا شوكيا مسجلا من خلية عصبية فى لوزة amygdalaالإنسان، تستقبل مجموعة نوى تحت اللحاء فى الفص الصدغى المتوسط مُدْخل مناطق بصرية ذات مستوى أعلى (ومن مناطق أخرى). رأى مريض الأعصاب صور الممثلين والسياسيين ومشاهير آخرين، والحيوانات والبنايات، إلخ، مع مراقبة نشاط الخلية فى مختبر جرّاح الأعصاب إسحاق فريد Fried فى جامعة كاليفورنيا فى لوس أنجلوس.[١٧] استجابت الخلية

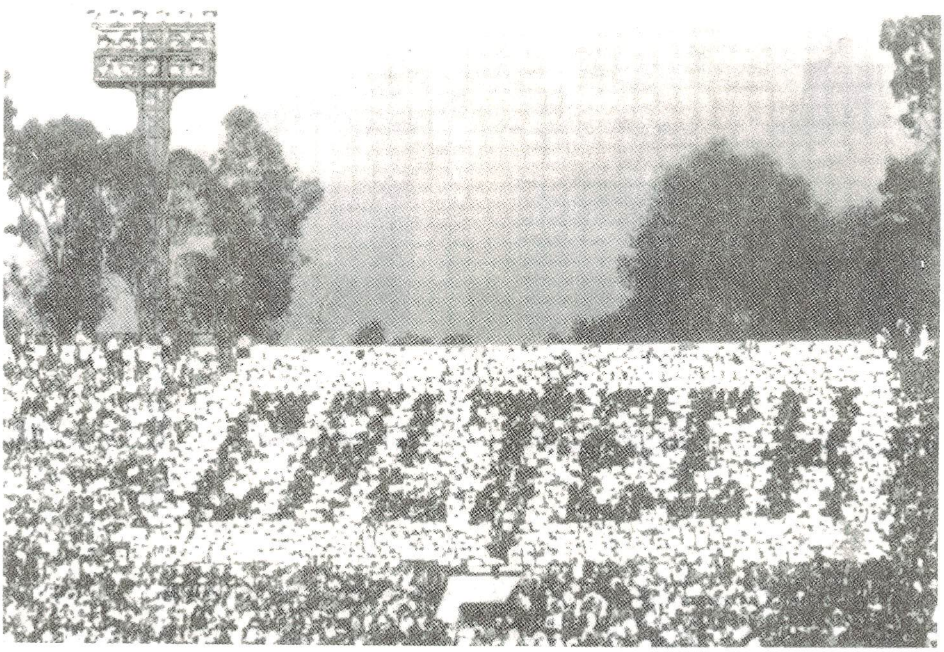
العصبية لثلاث صور من ٥٠ رسمًا تخطيطيًا للرئيس الأمريكى بل كلينتون، صورته الرئاسية، ومجموعة صور فوتوغرافية معه. فشلت فى التآجج لصور لمشاهير آخرين أو رؤساء آخرين. تختلف هذه الصور الثلاث، على مستوى البكسيلات pixels الفردية، بعضها عن البعض تمامًا؛ ومن ثم فإن درجة الثبات التى تعرضها الخلية لافتة تماما. فكِّرْ فى عمق الحساب المطلوب لنظام حساب فى كمبيوتر لتقرير إن كان بل كلينتون موجودًا فى صورة.

إذا وضعنا فى الاعتبار شهرة الرئيس كلينتون حينذاك، نفهم أن يوظف الدماغ خلايا عصبية تستجيب لوجوده المستمر فى وسائل الإعلام. لا أدعى، مع ذلك، أن هذه الخلية الواحدة تشكل ارتباطا عصبيا كاملا لُمدْرَك هو "الرئيس كلينتون". تآجج خلية لحائية واحدة أضعف من أن ينشط بقوة، بنفسه، الخلايا المرتبطة بها. يتطلب الأمر خلايا كثيرة. وهذا يعزز أيضًا قوة هذا المخطط الشفرى. أظن أنه ستكون هناك خلايا عديدة لمواضيع نواجهها كثيرا، مثل المشاهير والجدة وكلب الحراسة، كمبيوترك المحمول، إلخ. لكن وجه الغريب الذى عبأ ما اشتريت من السوبر ماركت لا يمثل بهذه الطريقة المتناثرة، بل بشكل مختلف.



الشكل ٢ـ٢ **خلية منتقاة لصور بل كلينتون**: نمط تأجج خلية عصبية فى اللوزة من مريض يتطلع لرسوم وصور، كل منها لثانية (الفترة الفاصلة بين الخطوط المتتابعة). استجابت الخلية بقوة لرسم بقلم رصاص، بورتريه رسمى، ومجموعة صور فوتوغرافية ضمت الرئيس الأمريكى السابق. ولم تبالِ لصور الرؤساء الأمريكيين السابقين (غير ظاهرين)، والرياضيين المشهورين، أو الممثلين المجهولين. معدلة عن .Kreiman, 2001

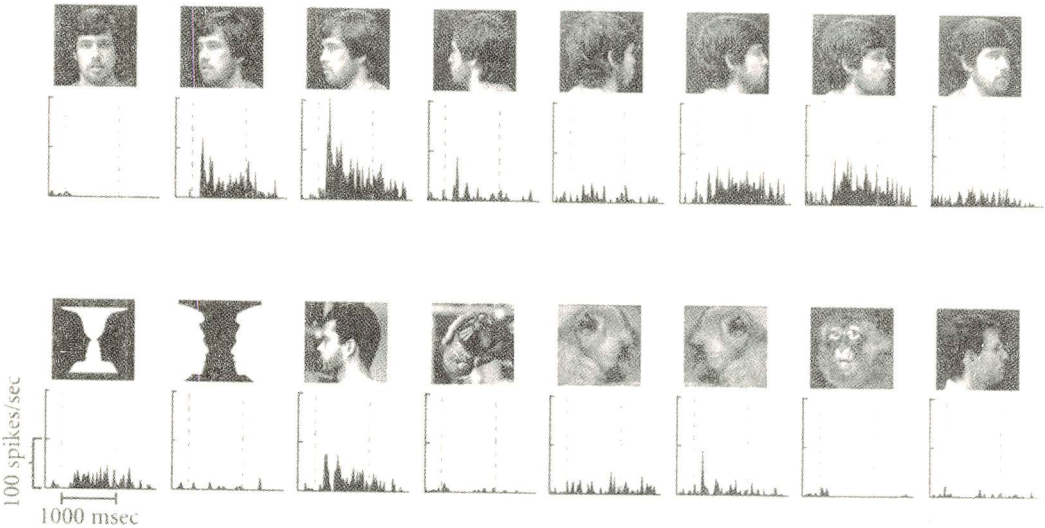
ثمة شكل للتمثيل العصبى أكثر شيوعًا وهى **التشفير العام** population coding، وفيه يشفر المعلوماتِ نشاطٌ شوكى لمجموعة كبيرة من خلايا تتناغم بشكل أكثر عمومية. لا يعنى تأجج خلية واحدة وحدها إلا القليل. لكن نمط تأجج مجموعة كاملة، إذا فُسِّر بشكل مناسب، يعبر عن ثروة من التفاصيل. يتحدث علماء الأعصاب عن تمثيل منتشر. فى شفرة منتشرة تماما، تساهم كل الخلايا العصبية التى تمثل جزءا من المجموعة ببعض المعلومات (يوضح الشكل ٢-٣ مثالا واقعيا لاستراتيجية تشفير عام ضمنى بشكل غير دقيق). فى التمثيل المتناثر، لا ينشط إلا عدد ضئيل فقط من الخلايا العصبية فى أى وقت. يقترب **التمثيل المتناثر** الحقيقى، فى حدود، من تمثيل خلية الجدة.



الشكل ٢-٣ مثال للتشفير العام الضمنى: كل متفرج فى مقاعد المتفرجين فى إستاد روز بول فى بسادينا، كاليفورنيا، كان معه بطاقة من الكرتون بالأسود أو الأبيض. مع إشارة، أظهر الجميع بطاقاتهم وعليها CALTECH. أى بطاقة، وحدها، تعمل بمثابة عنصر صورة ثنائية - بلا أهمية للفرد الذى يمسك بها. يلتبس المعنى المتأصل فى النشاط العام على المراقب الخارجى (الجمهور فى هذه الحالة). فى الدماغ، يجب أن يتم التسجيل البصرى بمجموعة أخرى من الخلايا. بإذن من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا.

من الأشكال المشهورة للتشفير العام في الشبكية، الموصوف فى الفصل الثالث، تشفير اللون. ويعتمد على النشاط المشترك فى ثلاثة أنواع من المستقبلات الضوئية (المخروطات cones) لها صور استجابة متميزة ناتجة عن طول موجة ضوء عرَضى. يدرك تدرج اللون باتحاد المعلومات من الدرجات الثلاث. لا يرى الأشخاص غير المحظوظين الذين ليس لديهم نوع واحد من المخروطات إلا ظلالا من اللون الرمادى.

ثمة مثال آخر للتشفير العام يتضمن خلايا الوجه فى الطبقة العليا من التدرج الهرمى البصرى (القسم ٨ ـ٥). تشفر مجموعةٌ هوية الوجه، وتهتم أخرى بتعبيراته (الغضب؟ الفزع؟). وتختلف استجابة مجموعة ثالثة من الخلايا العصبية بشكل متدرج مع تغير زاوية رؤية الوجه تدريجيا (الشكل ٢ـ٤). قد يتضمن أيضًا التمثيل الكامل للوجوه خلايا عصبية متخصصة جدا تحدثْتُ عنها (الشكل ٢ـ٢)، مع خلايا تشير إلى جنس الوجه، والشعر والبشرة وزاوية التحديق. تؤدى رؤية أى وجه، حتى لو كان مجهولا تمامًا، إلى نشاط على نطاق واسع فى كثير من مناطق الدماغ؛ تستجيب بعض الخلايا بقوة، ويستجيب معظم الخلايا بطريقة أضعف وأكثر تفككا. هذه الصفات التى تأتى صريحة ـ أى أن لها تنظيمًا عموديا ـ صفات تكفى، فى ظل ظروف مواتية، للإدراك الواعى.



الشكل ٢ـ٤ **خلية وجه**: معدل تأجج خلية عصبية فى اللحاء الصدغى السفلى من قرد يتطلع إلى صور متنوعة (بين الخطوط المنقطة). المحفز المفضل للخلية وجه بشرى بلِحْيةٍ فى صورة. من D. Sheinberg and Logothetis، اتصال خاص.

يتميز التمثيل المنتشر بمزية أساسية عن التمثيل المتناثر: يستطيع تخزين بيانات أكثر. افترضْ أنك تحتاج إلى تشفير هوية وجه كل شخص يمكنك التعرف عليه بالنظر، ربما بضعة آلاف من البشر. إذا شُفِّر كل وجه بتأجج خلية عصبية واحدة من خلايا الجدة، فإنك تحتاج إلى بضعة آلاف من الخلايا لعمل ذلك (فضلاً عن حقيقة أنه من أجل القوة، من المستحب وجود نسخ عديدة من كل خلية عصبية). تستخدم الشفرة العامة، من ناحية أخرى، الرياضيات لتشفير عدد من الوجوه أكبر بكثير.[١٨] افترضْ أن خليتين عصبيتين من خلايا الأوجه استجابتا بعدم الاستجابة إطلاقًا أو بالتأجج بقوة. بينهما يمكن تمثيل أربعة أوجه (وجه يشفر بعدم تأجج الخليتين، والثانى بنشاط متأجج فى واحدة والصمت فى

الأخرى، إلخ). عشر خلايا عصبية يمكن أن تشفر ٢، أو حوالى ألف وجه. الواقع أكثر تعقيداً من هذا، لكن الفكرة الأساسية للتشفير الرياضى تبقى: عرف حسابيا أن أقل من ألف خلية عصبية تكفى لتمييز وجه من آلاف الأوجه بطريقة قوية. وإذا وضعنا فى الاعتبار وجود ١٠٠٠٠٠ خلية تحت ١مم٢ من اللحاء، تكون القدرة التمثيلية المحتملة لأى منطقة لحائية هائلة. [١٩]

مبدأ النشاط

منذ بضع سنوات، افترضتُ أنا وفرنسيس **مبدأ النشاط** التالى: تحت كل إدراك مباشر وواعٍ تمثيل صريح تتأجج خلاياه بطريقة معينة. المثال الواضح **مثلث كانيستا** Kanizsa (الشكل ٢-٥)، يحمل اسم عالم النفس الجشتالتى Gestalt الإيطالى جيتانو كانيستا[٢٠]. يرى الجميع مثلثًا، حتى لو لم تكن هناك حافات بين البكمن Pacmen الثلاثة. يفرض هذا الوهم نفسه حتى أننى أتوقع أن الخلايا العصبية المفردة تستجيب له. وفى الحقيقة، توجد خلايا عصبية "تتأجج" للحافات الوهمية فى اللحاء البصرى (الشكل ٨ - ٢).



الشكل ٢-٥ **مثلث كانيستا الوهمى**: رغم عدم وجود مثلث على الورقة نفسها، تدرك مثلثا بوضوح. لكل خبرة مباشرة من هذا النوع، توجد مجموعة أو أكثر من الخلايا العصبية تمثل صراحة مختلف أوجه المُدْرَك. هذا هو مبدأ النشاط الذى وضعناه.

ثمة نتيجة مهمة لمبدأ النشاط: لا يمكن للمرء أن يعى خاصية إذا لم تشفرها مجموعة خلايا صراحة، مما يجعلك لا ترى منطقة سوداء خالية خارج مجال بصرك، خلفك. يمكنك أيضًا استنباط وجود الأشياء فى هذه المساحة الخالية، لكن فقط بشكل غير مباشر، بالصوت أو اللمس أو وسيلة أخرى. يفتقر دماغك لتمثيل صريح لهذا الجزء من العالم؛ وطبقا لذلك، لا يمثل ذلك الجزء من البيئة جزءا من خبرتك البصرية.

من السهل تماما أن ننزلق إلى خطأ القزم homunculus، ونفترض ضمنيا أن عاملا يتطلع إلى الدماغ، يدرك، ويتخذ قرارات. لكنه لا يفعل (على الأقل لا يفعل بالمعنى التقليدى؛ انظر الفصل ١٨). هناك مجموعة هائلة من الخلايا العصبية المترابطة. لا يمكنك أن تدرك شيئا أو حدثا بوعى إلا فى وجود تنظيم عمودى صريح له. إذا فُقِد هذا التمثيل، يتلاشى أيضًا الوعى بتلك الأوجه التى ترمز إليها هذه المجموعة من الخلايا العصبية. لكن الفقد ربما لا يكون دائمًا، لأن للأدمغة قدرات مذهلة على الاسترداد.

عقد أساسية فى الدماغ

ربما يجعل تدمير جزء معين من مادة الدماغ المريضَ عاجزا عن الشعور بوجه خاص من أوجه العالم، دون فقد عام لحاسة. ابتكر عالم الأعصاب البريطانى سمير زكى فى يونيفرستى كوليج University College فى لندن، إنجلترا، مصطلح العقدة الأساسية essential node ليصف الجزء التالف من الدماغ لتلك الخاصية الشعورية الخاصة. على سبيل المثال، تحتوى منطقة فى التلفيفة المغزلية fusiform gyrus على عقدة أساسية لإدراك اللون، ويتضمن الجزء الأمامى من هذه التلفيفة عقدة أساسية لإدراك الوجه، ويتطلب الأمر جزءا من اللوزة لإدراك تعبيرات الخوف على الوجه.[٢١]

تتأسس فكرة العقد الأساسية على ملاحظات دقيقة لمرضى الأعصاب. لا تُحدِّد مجموعةٌ خاصة من الخلايا العصبية فى ذلك الجزء من الدماغ حاسمة للوجه المصاب من الإدراك الشعورى. هل الخلايا العصبية كلها، أم الخلايا المثارة فقط؟ بشكل بديل، هل الخلايا التى تمتد خارج المنطقة اللحائية المعنية فقط؟

ثمة مشكلة أخرى تتمثل فى أن للعقدة الأساسية غالبا توءمًا فى النصف المقابل من الدماغ. وإذا كان الوضع كذلك، هل يفقد هذا الوجه من أوجه المُدْرَك فقط إذا خملت العقدتان؟ تأمل عمى الألوان، فقد إدراك اللون بعد رض موضعى للحاء البصرى يترك القدرات البصرية الأخرى سليمة. فى بعض المرضى يقتصر التلف على لحاء نصف واحد من الدماغ، وتبدو الأشياء فى مجال الرؤية المعنى مجردة من اللون؛ يمكن رؤيتها فى شكل ظلال رمادية فقط. وبفرض أن النواة الأساسية فى النصف الآخر من الدماغ سليمة، تبدو الأشياء بأشكالها العادية فى ذلك الجزء من المجال البصرى. (٢٢)

من المستساغ أن تناظر موضعًا فى الدماغ حيث تصبح صفة المحفِّز، ولتكن وجوهًا مثلا، صريحة، عقدةٌ أساسيةٌ لتلك الخاصية، وهكذا تربط مفهوم خلية واحدة (التشفير الصريح) بمفهوم إكلينيكى (العقدة الأساسية).

ينتج الإدراكُ الشعورى من نشاط فى عقد أساسية كثيرة. فى حالة الوجوه، على سبيل المثال، يتضمن هذا بقعًا تحمل شفرة العين والأنف، وجنس الوجه وهويته، زاوية تحديقه، تعبيره الانفعالى، إلخ. ويمكن أن يسمى هذا بالنشاط متعدد البؤر multi-focal. يُشيِّد المُدرَك الشعورى للوجه كله من نشاط هذه العقد وبينها إذا نشطت لفترة زمنية معينة (فى حدود ٠,٢ ـ ٠,٥ ثانية). يؤدى تلف عقدة إلى فقد الصفة الخاصة التى تمثلها، وتبقى الأوجه الأخرى.

وعلينا أن نضع فى أذهاننا أن الفقد لابد أن يكون خاصا بوجه معين من أوجه الإدراك. على سبيل المثال، اللحاء البصرى الأولي ليس عقدة أساسية للحركة أو اللون: لأن إزالته يتبعها بشكل فعال فقد كل الإدراك البصرى العادى.

٢ـ ٣ معدلات التأجج، والتذبذبات، والتزامن العصبى

تتناثر فى هذا الكتاب بحرية تعبيرات مثل "خلية عصبية تستجيب لوجه" أو "يرتفع النشاط المتأجج". ماذا أعنى بالضبط؟ يرتبط هذا السؤال بالمشكلة الأساسية للشفرة (أو الشفرات) التى تستخدمها الخلايا العصبية لتوصيل

المعلومات فيما بينها. وكما ترى، من المهم تمييز مختلف أشكال النشاط العصبى. ربما يستخدم التمثيل العصبى الصريح شكلا أو عدة أشكال منها.

جهود الفعل بروتوكول اتصال عالمى

من الملاحظات الأساسية فى علم الأعصاب أن جهود الفعل هى الوسيلة الأولية لنقل المعلومات بسرعة من خلية عصبية إلى الخلية التالية. [٢٣]

بالاندفاع بطول المحور بسرعة تتراوح بين مليمتر وعشرات المليمترات فى الملى ثانية- وتعتمد على قطر الليفة المحورية وما إن كان محاطًا بعازل- توصل الشوكات توقيت حدث فى خلية عصبية إلى مئات أو أكثر من الخلايا المستهدفة المنتشرة فى كل أنحاء الدماغ، القريبة والبعيدة. نشر المعلومات بتأثير النبضات عام تقريبًا وبروتوكول اتصال قوى لمعظم الحيوانات. نبضات الكل أو لا شىء أكثر حصانة للضجيج والانحلال البيئى من التغيرات الكهربية المستمرة، التى تستغرق وقتا أطول لتنتشر.

وسائل الاتصال الأخرى المتاحة للدماغ بطيئة جدا أو عامة بدرجة تجعلها غير مفيدة للإدراك السريع والفعل الحركى. على سبيل المثال، يؤثر انطلاق هائل لبعض المواد الكيميائية العصبية فى كل الخلايا العصبية التى تحمل المستقبلات المناسبة بحجم يحدده الانتشار السلبى. يحد الانتشار، إضافة إلى ذلك، بشدة من سرعة انتشار التغير فى التركيز بما يتجاوز بضعة ميكرومترات.

وسيلة الاتصال الأكثر عمومية هى **جهد المجال الموضعى** local field potential الذى يتولد عن النشاط المشبكى والشوكى الذى يمكن التقاطه بقطب على بعد مليمترات أو حتى سنتيمترات عن المصدر. ومع ذلك، يعتبر المجال الكهربى المغناطيسى طريقة غير دقيقة وغير كافية للخلايا العصبية لتشارك فى المعلومات. باستثناء الحالات المرضية (مثل نوبات الصرع)، الجهد الذى تولده الشوكات خارج الخلية ضئيل (فى حدود جزء من ملى فولت) ويتضاءل عكسيا مع المسافة. إضافة إلى ذلك، يؤثر جهد المجال الموضعى فى كل النقاط التى توجد على مسافة ثابتة بشكل متساو. بينما لا أستطيع استبعاد أن مثل هذه التفاعلات

الإفبسية[٢٤] قد تلعب دورا وظيفيا (على سبيل المثال، فى العصب البصرى حيث تُحزَم مليون خلية عصبية معًا)، تحد الفيزياء العصبية للنسيج العصبى من دورها بشدة. [٢٥]

وتبقى هناك طريقة أخرى للفعل تشمل مجموعات من الخلايا البينية اللحائية الكابحة ترتبط بعضيات organelles خاصة ضعيفة المقاومة، تعرف بالمشابك الكهربية electrical synapses أو روابط الفجوات gap junctions. تطلق كل هذه الخلايا العصبية البينية، فى ظروف معينة، جهود الفعل فى الوقت ذاته، وتعمل وحدةً واحدةً. لا يُعرَف ما يكفى عن هذه الظاهرة لدمجها فى الإدراك الشعورى.[٢٦]

هذا هو الواقع الصعب الذى تواجهه نظرية تحت عصبية sub-neural أو نظرية مجال عن الوعى. كيف لا يمكن إلا بالشوكات توصيل الخاصية شديدة الخصوصية لخبرة ذاتية - ظلال رقيقة من القرنفلى أو لحن فالس عاطفى - عبر عدة مناطق لحائية أو تحت لحائية؟ إذا لم يغير اكتشاف درامى طريقة رؤية علماء بيولوجيا الأعصاب لطريقة عمل الخلايا العصبية الفردية، فإن جهود الفعل التى تنتقل عبر المحاور والأحداث المشبكية المثيرة هى الوسيلة المعترف بها لانتشار المعلومات بسرعة فى النسيج العصبى.

دعنى أوضح المشكلة المروِّعة التى يواجهها عالم الأعصاب الباسل الذى يحاول فهم كيفية تحاور الخلايا العصبية بعضها مع البعض، بمساعدة القياس التمثيلى. تخيّل ملعبًا ضخمًا لكرة القدم فى الهواء الطلق تجرى فيه مباراة. وفوق الإستاد يرفرف منطاد صغير مجهز بكاميرات تليفزيون ومكبرات صوت ومجموعة باحثين يحاولون اكتشاف الطريقة التى يتواصل بها الناس من تحتهم. من على بعد، يسمع الطاقم صياح الجماهير عند إحراز هدف والصمت الحافل بالمعانى قبل تصويب ضربة جزاء. ومكبرات الصوت تنزل على أسلاك إلى الأرض، يمكن التقاط أصوات ترتبط بمجموعات أصغر وأصغر من الناس: أولا، الجزء الذى ينزل فيه الفريق المحلى فى الإستاد، ثم أحد المدرجات، حتى يمكن فى النهاية سماع متفرج واحد. العملية عشوائية، وفى كل مرة يُسمَع متفرج مختلف. إضافة إلى ذلك، من غير المحتمل معرفة المتفرج، أو عمره، أو نوعه، أو وظيفته، إلخ.

لا يعرف العلماء فى المنطاد، فى وقت قصير، سوى أن هؤلاء الناس يتواصلون بالأصوات. لكن كيف؟ يرى البعض أن الخاصية الوحيدة المهمة هى مدى ارتفاع الأصوات التى يتحدث بها المتفرجون معًا. يشفر ارتفاع الصوت وحده، من همس رقيق إلى صراخ عال، المعلومات المهمة. الباقى صخب. هذا المثال شبيه إلى حد ما بشفرة معدل التأجج الذى نتناوله فيما يلى.

معدلات التأجج

يتناول علماء الدماغ الطبيعة الرئيسية لجهود الفعل كما هى. الموضوع المثير للخلاف هو الشفرة العصبية التى توظف هذه الشوكات.

تطلق ومضة ضوء أو صورة أو نبرة صوت قافلة غير منتظمة من جهود الفعل. إذا قُدِّم المحفِّز ذاته بشكل متكرر، يتذبذب الوقت المضبوط الذى تحدث فيه الشوكات المفردة من محاولة إلى أخرى (ويرتبط هذا ببدء المحفِّز)، ويختلف متوسط عدد الشوكات بشكل أقل. أى أن الخلية العصبية تطلق، حول المرة الأولى، ١٢ شوكة زيادة عن معدلها "التلقائى" فى ٢٠٠ ملى ثانية بعد عرض المحفز، بينما يستثير العرض فى المرات الثلاث التالية ١١، ١٤، ١٥ شوكة بالتتابع؛ وهكذا يكون متوسط استجابة الخلية العصبية ١٢ شوكة. تدعم هذه الملاحظات واسعة الانتشار مشهد **معدل تأجج الشفرة**: فرضية أن ما يتصل بالموضوع هو معدل التأجج المتغير باستمرار، ونحصل عليه بمتوسط استجابة النشاط الشوكى لتكرار عرض المحفز مرات كثيرة. تفترض شفرة معدل التأجج مجموعة خلايا عصبية تعبر كلها عن خصائص متماثلة إلى حد ما، مما يجعل هذه الاستراتيجية للتشفير غالية فيما يتعلق بالخلايا العصبية، لكنها تقاوم التلف. تُقيَّم كل تسجيلات فسيولوجيا الأعصاب تقريبا وتُقدَّم بهذه الطريقة.

تأكدت أقوى رابطة بين معدل التأجج والسلوك بالنسبة للخلايا العصبية الفردية فى المنطقة الصدغية الوسطى. يُدرَّب قرد على أداء مهمة ملحة لإدراك حركة (تُشرَح بشكل أكمل فى القسم ٨-٣)، ويُسجَّل النشاط المتأجج فى المنطقة

الصدغية الوسطى. فى واحدة من أروع ساعات الكهرو فسيولوجيا، ربط وليم نيوسم Newsome وأنتونى موفشون Movshon وآخرون متوسط عدد الشوكات التى تطلقها خلية عصبية على مدى ثانيتين استجابة لمحفز متحرك باحتمال أن الحيوان، فى تلك المحاولة الخاصة، اكتشف الإشارة المتحركة. وسمح هذا لعلماء وظائف الأعضاء بتوقع سلوك الحيوان، فى ظل ظروف مقيدة واستثنائية إلى حد ما، بشكل لا يمكن إنكاره، من معدل استجابة الخلية العصبية.

فى شفرة المعدل، لا يهم إلا عدد الشوكات فى وحدة الزمن. لا تحمل هذه الشفرة تعديلا مؤقتًا يتجاوز ما يفرضه المُدْخَل. حين يضاء نور ويطفأ باستمرار، يختلف معدل التأجج بالإيقاع نفسه. إضافة إلى ذلك، لا يعتمد الوقت الدقيق الذى تولِّد فيه خليةٌ واحدةٌ شوكةً على الوقت التى تولد فيه الخلايا المماثلة شوكة. أى أن خليتين عصبيتين متجاورتين قد تزيدان بشكل مشترك معدل النشاط الشوكى استجابة لمحفز، لكن فى شفرة معدل، لا يرتبط توقيت جهود الفعل فى خلية واحدة على مستوى ملى ثانية بجهود الفعل فى الأخرى.

فى هذا الرأى العادى عن تشفير المعدل فى الجهاز العصبى الكثير مما يجعلنا نوصى به. إنه بسيط وقوى ومتوافق مع ثروة عقود من البيانات والنماذج، وخاصة فى الخلايا العصبية القريبة من الأطراف الحسية. يفترض، فى جوهره، أن الخلايا العصبية أدوات صاخبة لا يعول عليها، وأن الجهاز العصبى يعتمد على الكثير من الخلايا ليعوض هذه المكونات الرديئة. (٢٧)

توحى معظم البيانات، رغم ذلك، بأن هناك فى تشفير المعلومات أكثر من تغيرات معدل التأجج، ومستوى الصخب فى الدماغ أضأل ما يكون، والخلايا العصبية أدوات حسابية معقدة، والوقت الدقيق لحدوث الشوكات مهم. وبشكل مهم، ما يعتبر صخبا فى ظل نموذج تشفير المعدل جزء من الإشارة فى ظل هذا الرأى البديل عن التشفير العصبى. هذا وضع المتفرجين فى القياس التمثيلى للإستاد. إنهم لا يتحدثون فقط بصوت أكثر انخفاضا أو ارتفاعًا، لكن الصوت نفسه يُعدَّل بشكل كبير فى الزمن، مما يؤدى إلى كلام البشر! يناقش الجزء التالى الدليل على أن تفريغ الشوكات يتشكل بطريقة دورية.

التذبذبات فى الدماغ

الدماغ تجمع عملاق ومعقد من عناصر المعالجة غير الخطية. ويكمن تحدى تصميم دوائر تحويل تغذية رجعية موجهة، كما يعرف أى مهندس كهرباء، فى توجيه سياق حذر بين "كريبديس" السكون أو "الموت"، و"سيلا" الإثارة الهائلة أو "نوبة الصرع"[٢٨]. حتى لو أمكن تجنب التغذية الرجعية الموجبة فهى مهيأة للتذبذب إلا إذا وضعنا فى الاعتبار المقاييس النشطة المتضائلة.[٢٩]

يكشف رسم المخ الكهربى حدوث إيقاعات الدماغ أو موجاته على نطاق واسع. الجهد الكهربى المسجل خارج الجمجمة مفعم بنشاط تذبذبى فى حزم مختلفة التردد. يختلف تردد هذه التذبذبات من دورة إلى ما يقترب من ١٠٠ دورة فى الثانية (هرتز). تستمر فى شكل متميز أثناء الحالات السلوكية المختلفة وأيضًا أثناء المرض (ومن هنا تأتى أهمية رسم المخ الكهربى فى الممارسة الإكلينيكية).

فى الشخص المستريح تماما، يحدث الإيقاع السائد فى **حزمة ألفا alpha band**، بين ٨-١٢ هرتز. يؤدى فتح العين أو بدء جهد ذهنى هادف إلى أن يحل مكان هذا النشاط (**إعاقة ألفا** alpha blockade) تذبذبات عالية التردد فى حزم **بيتا** beta (١٥ - ٢٥هرتز) وجاما gamma (٣٠ هرتز أو أكثر). ترتبط حزم جاما بالعمليات المعرفية. أثناء الوخم والنوم، تظهر عائلة من التذبذبات مرتفعة السعة منخفضة التردد فى حزمة دلتا delta بين ١-٤ هرتز. يمكن تشخيص اضطرابات معينة فى النوم باضطرابات هذا التفريغ الإيقاعى البطىء.

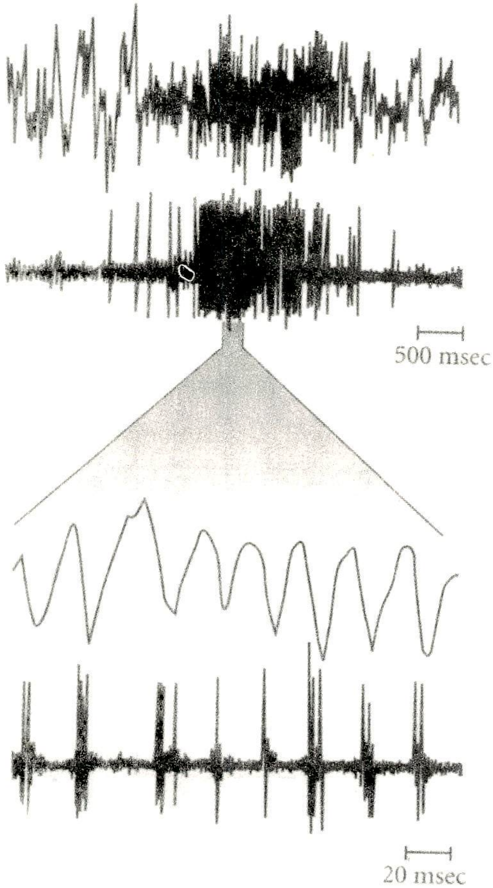
تعكس الجهود الكهربية الدورية فى الدماغ نشاطًا متزامنًا فى الخلايا العصبية الأساسية اللحائية وتحت اللحائية والخلايا المساعدة. من الصعب تحديد المولدات الخلوية المسئولة عن أنماط معينة فى رسم المخ الكهربى بدقة لضعف مقاومة النسيج العصبى لتدفق التيار الكهربى والتأثير المشوه للجمجمة.[٣٠]

يؤكد تسجيل جهد المجال الموضعى من الأقطاب الموضوعة تحت الجمجمة وجود نوبات تذبذبية محددة تزيد وتنقص، اعتمادًا على الحالة السلوكية والذهنية للشخص. تكشف تسجيلات رسم المخ من **داخل الجمجمة** intracranial

نمط تفريغ إيقاعى آخر يمكن ملاحظته بشكل يعول عليه داخل قرن آمون hippocampus وبعض بناه المستقبِلة: تذبذبات مستمرة من ٤ إلى ٨ هرتز (حزمة ثيتا theta)، ترتبط بعمليات معرفية من قبيل الذاكرة العاملة والملاحة navigation. [٣١]

حيث إن حاسة السمع جيدة إلى حد كبير فى التقاط الإشارات وسط خلفية صاخبة، كثيرا ما يكبِّر علماء الكهروفسيولوجيا النشاط الكهربى للخلايا العصبية ويعرضون تفريغ الشوكات الناتجة فى مكبر صوت. فى ظل ظروف معينة، يمكن سماع أزيز ثابت مركب على صخب طقطقة نتيجة جهود فعل فردية. تؤكد عمليات حسابية مناسبة، مثل تحويل فوريه،[٣٢] وجود إشارة دورية يولدها ميل عدد من الخلايا العصبية اللحائية للتأجج بشكل دورى (كل ٢٠-٣٠ ملى ثانية). لبعض الخلايا انتظام واضح حتى أنها تفرِّغ بشكل يشبه الساعة تقريبًا. يتوزع تردد هذه الإيقاعات عموما بين ٣٠-٧٠ هرتز، مع قمة تحدث عند ٤٠ هرتز، ومن هنا اسمها العامى: ٤٠ هرتز أو ذبذبات جاما gamma (الشكل ٢-٦).

اعتبرت ذبذبات ٤٠ هرتز، وقد اكتشفها لورد آدريان Adrian فى جهاز الشم فى الأرانب، غريبة وأهملها الاتجاه السائد. واكتشفها، فى اللحاء البصرى فى القطط فى أواخر ثمانينيات القرن العشرين تشالرز جراى Gray وولف سينجر فى معهد ماكس بلانك Planck لأبحاث الدماغ فى فرانكفورت، ألمانيا. [٣٣]



الشكل ٢ـ ٦ **ذبذبات فى مجال ٤٠ هرتز:** جهد المجال الموضعى (الرسم الأول والثالث من أعلى) والنشاط الشوكى من عدد من الخلايا العصبية القريبة (الرسمان الثانى والرابع) مسجلة فى لحاء بصرى أولي لقطة بينما كان يقدّم قضيب متحرك على شاشة كمبيوتر. نشاط إيقاعى حول ٤٠ هرتز يمكن أن يُلاحَظ فى الرسمين السفليين، وهما جزءان مكبران من الرسمين العلويين. معدَّل عن جراى وسينجر .Gray and Singer, 1989

مُيِّز اعتماد المحفز على هذه الإيقاعات بشكل معقول فى اللحاء البصرى للقطط والقرود. وتغيب عموما أثناء النشاط التلقائى، وتعتمد بقوة على التحفيز البصرى، وتُقيَّد زمنيا بالمحفزات. يمكن ملاحظة ذبذبات جاما بشكل روتينى فى جهد المجال الموضعى، وبشكل أقل مع تسجيل نشاط خلايا عصبية متعددة (أى مجموع شوكات خلايا متجاورة). ثبت، بتسجيل مختبرات مختلفة لنتائج متباينة، أن اكتشاف هذه الإيقاعات فى نمط شوكى فى الخلايا العصبية الفردية إشكالى أكثر.

يمكن رؤية نظائر هذه الذبذبات فى التسجيلات الكهربية من فروة الرأس. رغم ضآلة التغير فى الجهد الكهربى على الرأس، استجابة لمحفز. يمكن تكبيره بأخذ متوسط مئات المحاولات لتقديم إشارة يمكن التعويل عليها. **الجهد المستثار** evoked potential، قاس علماء النفس **الجهود المستثارة بصريا** والشخص يتعرض لخبرات بصرية. وتوصلوا إلى أن نشاط حزمة جاما يشير إلى تكوين مُدرَك بصرى، اعتمادًا على ائتلافات الخلايا العصبية التى تبدأ عند ٤٠ هرتز. أى افتُرِض أن الارتباطات العصبية لمُدْرَك بصرى تجمعات خلايا فى اللحاء بإيقاع بارز. بينما يبدو هذا التفسير معقولا، فإن الوضوح المكانى المحدود لكتلة نشاط كهربى مسجل من خارج الجمجمة يحد بشدة من فائدة رسم المخ الكهربى والطرق المرتبطة به. تأمل ضآلة ما يمكن استنباطه عن بنية المحيط وعمقه من قياس أمواج تتقاطع على سطحه. [٣٤]

يحتوى الجهد السمعى المستثار auditory evoked potential، الذى يلى طقطقة تنقل عن طريق سماعة رأس إلى الأذن دورية واضحة من ٢٥ ملى ثانية، مناظرة لأربعين دورة فى الثانية.[٣٥] ويعتبر غياب هذا المكوِّن البارز مؤشِّرًا لعمق التخدير ويتنبأ بالانتقال من يقظة الدماغ إلى اللاوعى. كلما كان مكوِّن ٤٠ هرتز أضعف قل احتمال أن يسجل المريض يقظة أثناء العملية أو يستدعى ما يحدث أثناءها. هذه الرابطة، فى ذاتها، بين الوعى الشامل - كما يُعرَّف إكلينيكيا - ونشاط نظام ٤٠ هرتز لا تفيد كثيرًا فى فهم الوظيفة الخاصة للذبذبات. رغم كل شىء، إذا كانت قوة التيار المتردد لموصل كمبيوترك المحمول تفشل فى أن تئز buzz عند ٥٠ هرتز أو ٦٠ هرتز (اعتمادا على مكانك فى العالم)، يكون

الكمبيوتر بلا مصدر كهربى وسيغلق. ولا يتضمن هذا، أن النشاط الكهربى ٥٠ هرتز أو ٦٠ هرتز يرتبط بطريقة خاصة بالعمليات التى ينجزها الكمبيوتر. ثمة تفسير محافظ مناسب لرابطة ٤٠ هرتز بالتخدير يتمثل فى أنه حين يتأثر اللحاء بشدة ببعض الأدوية يختفى هذا النشاط المميز، ويتوقف الوعى أيضًا.

إذا كان النشاط الشوكى بإيقاع ٤٠ هرتز مهمًا للدماغ، فذلك يرجع فقط إلى أن الخلايا العصبية التى تستقبل هذه الشوكات قادرة على حل شفرتها. يجب تمييز النبضات التى يفصل بينها ٢٠-٣٠ ملى ثانية من تلك التى تحدث بشكل عشوائى زمنيا أو تلك التى تحدث بإيقاع مختلف. لا يمكن تقييم هذا بشكل صحيح دون وضع التزامن بين الخلايا العصبية ومداه فى الاعتبار، وهو انعطاف آخر مهم فى قصة التشفير.

التوافق الزمنى بين الخلايا العصبية

يجس النموذج الكهروفسيولوجى السائد الدماغ بقطب وحيد يتعقب نشاط خلية عصبية واحدة أو بضع خلايا عصبية متجاورة (كما فى الأشكال ٢-١، ٢-٢، ٢-٤). يوضح نجاح العقود الأخيرة بجلاء خصوبة هذه الطريقة، لكن بها قصورًا شديدًا.

على خلفية عامة، ربما يبدو من المتعذر استنباط أى شىء عن الدماغ بالاستماع لخلية عصبية من ملايين الخلايا. ما فرصة مهندسة كهرباء، على سبيل المثال، فى فهم عمليات كمبيوتر رقمى إذا لم تستطع اقتناء سوى واحد من عشرات ملايين من الترانزستورات فى وحدة المعالجة المركزية فى الآلة؟ فى إدراك متأخر، لا يمكننى إلا التعبير عن إعجابى بقدرة المستكشفين الأوائل للدماغ وتصميمهم على التقدم رغم هذه الاحتمالات المروعة. كشفت كهرو فسيولوجيا خلية واحدة عناصر المعالجة الأساسية فى الجهاز العصبى وطريقة ترابطها. وللحصول على فهم أعمق لديناميكيات التجمعات العصبية المتنافسة، لابد من وضع النشاط الشوكى لعشرات ومئات وآلاف وربما أكثر من الخلايا العصبية فى الاعتبار.

بشكل خاص، تهمل تقنية القطب الواحد مصدرًا للمعلومات غنيا بالجهد الكهربى، وهو العلاقة الزمنية بين شوكات خلايا عصبية متعددة. إذا كانت خليتان تشفران الخاصية ذاتها، هل من المحتمل أكثر أن تتأججا فى الوقت ذاته أم لا؟ هل تميلان للتأجج متزامنتين أم مستقلتين؟

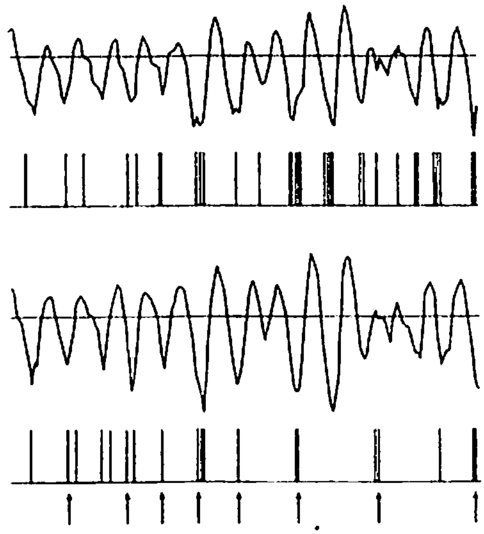
تخيل شجرة عملاقة من أشجار الكريسماس، مزينة بمئات من المصابيح الكهربية، يومض كل منها ويخبو عشوائيا. مهمتك إبراز مجموعة مصابيح على قمة الشجرة. إحدى طرق إنجاز هذا زيادة معدل وميض وخفوت مجموعة المصابيح. ثمة طريقة أخرى وهى إشعال كل مصابيح المجموعة فى الوقت ذاته. يزيد الوميض المتزامن لهذه المجموعة من المصابيح بروزها إلى حد كبير (يصح هذا سواء كانت مصابيح المجموعة تُضاء وتُطفأ فى فترة زمنية ثابتة أم عشوائيا، ما دام ذلك يتم فى الوقت ذاته). ينطبق المنطق ذاته على الدماغ، مع إحلال شبكة عصبية مكان "المشاهد الذى يتطلع إلى الشجرة". تبقيها الفيزياء الحيوية للخلايا العصبية معرضة للمُدْخَل المشبكى المثير المتزامن أكثر من تعرضها لمُدْخَل عشوائى. على سبيل المثال، يكفى ١٠٠ مُدْخَل مشبكى مثير سريع، تتوزع على شجرة متفرعة لخلية عصبية هرمية كبيرة، لتوليد جهد فعل إذا نُشِّطت خلال ملى ثانية بعضها من البعض. وإذا وصلت الشوكات قبل المشبكية منتشرة على مدى ٢٥ ملى ثانية، يتطلب الأمر ضعف عدد المشابك لتتأجج الخلية. المُدْخلات المشبكية المتزامنة أكثر كفاءة عادة على دفع خليتها المستهدفة مما لو كانت المدخلات غير متزامنة.[٢٦]

يُقبَل هذا كله على نطاق واسع. يدور النزاع حول إن كانت خلايا اللحاء تتكامل فى عدد هائل من المدخلات فى عشرات من الملى ثانية أم تكتشف الخلايا العصبية الوصول المتزامن لبضعة مدخلات فى جزء من ملى ثانية بالضبط.

أدرك عالم الأعصاب والمنظِّر الألمانى كريستوف فون دى ملسبرج Malsburg فى ثمانينيات القرن العشرين أن الجهاز العصبى يمكن أن يستخدم تزامن التأجج لحل مشكلة الارتباط binding problem، وهى مشكلة شهيرة (نتناولها بمزيد من التفصيل فى القسم ٩ـ ٤). كيف "يعرف" الدماغ أن النشاط المتأجج المنتشر

فى خرائط متنوعة فى كل أرجاء اللحاء يناظر صفة ما لشىء ما؟ كما ذكرنا من قبل، يثير شىء ذو معنى مثل الوجه نشاطا شوكيا فى مواضع متعددة فى اللحاء والأجهزة التابعة لها؟ كيف يتحد كل هذا النشاط فى مُدْرَك واحد؟ إضافة إلى ذلك، كيف يمكن تمييز هذا النشاط من النشاط الناتج عن وجه آخر مرئى فى الوقت ذاته؟ من المؤكد أن الشوكات كلها تبدو متشابهة. افترض فون دى ملسبرج أن الدماغ يمكن أن يعرف هذه التجمعات العصبية بعيدًا عن التزامن. مثل المصابيح الكهربية على شجرة الكريسماس، تتأجج الخلايا العصبية فى ائتلاف يعبر عن مُدرَك واحد بطريقة متزامنة، لكنها لا تتزامن مع ائتلاف يشفر لوجه آخر أو لأشياء فى الخلفية. (٣٧)

بقدر كبير من الإثارة المبررة، لم يصف جراى وسينجر وزملاؤهما أنماط تأجج ٤٠ هرتز فقط، بل وصفوا أيضًا الطريقة التى صارت بها هذه الاستجابات المتذبذبة المتزامنة بطريقة تعتمد على المحفِّز (الشكل ٢ـ٧). حرَّك العلماء قضيبين عبر مجالات الاستقبال فى مواضع فى اللحاء البصرى لقطة حيث وُضع قطبان كهربيان. وأثار هذا نشاطًا شوكيا مناسبًا، لكن الوقت الدقيق الذى أُطلقتْ فيه جهود الفعل فى موضع واحد كان مستقلا عن توقيت جهود الفعل فى الآخر. لم تكن الشوكات متزامنة. زاد التزامن بشكل دال حين استبدل بالقضيبين قضيبا واحدا طويلا يمكن أن ترى حركته الخلايا فى الموضعين كليهما.(٣٨)



الشكل ٢-٧ تزامن الشوكات: جهد المجال الموضعى (الرسمان الأول والثالث) والنشاط الشوكى العصبى (الرسمان الثانى والرابع) فى موضعين فى اللحاء البصرى لقطة استجابة لقضيب واحد مضىء يتحرك عبر المجال البصرى. تحدد الأسهم أزواج الشوكات من الموضعين، التى تحدث خلال بضعة ملى ثانية بعضها من البعض. جهد المجال الموضعى، المؤشر للنشاط الكهربى فى منطقة كبيرة، يدور حوالى ٤٠ مرة فى الثانية. معدَّل عن Engel et al., 1990

سُجِّل تزامن الشوكات فى عينات متنوعة، من جهاز الشم عند الجراد إلى اللحاء البصرى والجركى البصرى والحسى الجسدى والحركى فى قطط وقرود نشطة. (٣٩)

يتناسب مقدار التأجج المتزامن واحتماله عكسيا مع المسافة بين الخليتين (كلما تباعدت انخفضت درجة التزامن) ويتناسب طرديا مع تماثل انتقائية الخليتين. أى أنه إذا كانت الخليتان تفضلان قضبانًا فى الاتجاه ذاته، يكون التزامن أقوى مما لو كان تناغم اتجاه الاثنتين مختلفا اختلافًا جوهريا. وكثيرًا ما

يستغرق التأجج المتزامن ١٠ ملى ثانية أو أقل، مما يعنى أن شوكة فى خلية ترتبط بشوكة فى الأخرى تحدث فى خلال ٥ ملى ثانية.

وبالعودة إلى استعارة الإستاد، يتبين للملاحظين فى المنطاد فوق الإستاد ترابط أنماط الحديث الملتقط بالميكروفونات بين المتفرجين المتجاورين وضعف هذا الترابط مع المسافة (كلما تباعدوا قل احتمال أن يتحدثوا معًا). ورغم ذلك، أحيانا، حتى الذين يجلسون على الجانبين المتقابلين من الإستاد يكون لهم نتاج مترابط، مثل صياح الجماهير عند اقتراب الكرة من المرمى.

العلاقة بين التزامن والتذبذب علاقة شائكة. مبدئيا، يمكن أن يحدث الاثنان بشكل مستقل. تأمَّلْ، على سبيل المثال، مؤشرات الأسهم الأساسية، مثل ناسداك Nasdaq، ودو جونز للصناعات، ونيكى Nikkei، وداكس DAX، إلخ. تترابط كلها بشكل كبير يوميا. إذا زادت مبيعات الأسهم فى الولايات المتحدة، تندفع أسواق الأسهم الرئيسية الأخرى بسرعة؛ لكن هذا الارتباط ليس له مكوِّن دورى واضح. فى الحالة المقابلة، تأمل الطمث. يكون لامرأتين اختيرتا عشوائيا دورات طمث بشكل دورى كل ٢٨ يوما تقريبا. فرص أن تشتركا فى بداية الطمث صغيرة، مثال للتذبذب دون تزامن. من ناحية أخرى، فى أجهزة تغذية رجعية متلازمة بقوة مثل الدماغ، ترتبط التذبذبات والتزامن ارتباطا قويا، ويتضمن الأخير الأول عادة. حين تتزامن خليتان عصبيتان متباعدتان، تفعلان ذلك بشكل تذبذبى.(٤٠)

فى ١٩٩٠ أكدتُ أنا وفرنسيس أن الذبذبات المتزامنة ٤٠ هرتز فى مجموعة فرعية من الخلايا العصبية تناظر شيئًا موضع اهتمام هى توقيع الارتباطات العصبية للوعى. بتعبير آخر، يمكن تحديد محتوى الوعى، فى تلك اللحظة، بمجموعة من خلايا مقدم الدماغ تتأجج بشكل مرحلى بشكل دورى كل ٢٠-٣٠ ملى ثانية.(٤١)

ولَّد ادعاؤنا بوجود رابط بين التزامن فى حزمة جاما والوعى حماسًا على نطاق واسع واهتمامًا وسخرية، داخل جماعة علم الأعصاب وخارجها. تفسير النتائج الإمبريقية المرتبطة بالموضوع محفوف بصعوبات هائلة. الأسباب معقدة، لكنها تساوى معرفة أية مجموعة فرعية من الخلايا العصبية ينبغى التسجيل منها؛ التقاط صوت خافت من تنافر صخب شديد فى الخلفية ليس سهلا. فى

فسحة من الوقت، سوف تُحسَم هذه القضايا باستخدام تقنيات متعددة الوحدات للتسجيل لمتابعة متزامنة ومستمرة للنشاط الشوكى لمئات الخلايا العصبية المحددة فى حيوانات نشطة. (٤٢)

اليوم، لا نعتقد أنا وفرنسيس أن التأجج المتزامن شرطٌ كافٍ للارتباطات العصبية للوعى. ثمة خط وظيفى متوافق مع البيانات وهو أن التزامن يساعد ائتلافا وليدًا فى تنافسه مع الائتلافات الوليدة الأخرى.(٤٣) كما نشرح فى الفصل التاسع، يحدث هذا حين تنتبه لشىء أو حدث. يمكن أن تكون الركيزة العصبية لهذا التوجه تأججا متزامنا فى حزم بتردد معين (انظر الهامش ١٢ فى الفصل العاشر). بمجرد ترسيخ الائتلاف باعتباره فائزًا وأنت تعى الصفات المرتبطة به، ربما يستطيع الائتلاف الاستمرار دون مساعدة التزامن، على الأقل لبعض الوقت. وهكذا، ربما نتوقع حدوث ائتلافات متزامنة فى المراحل المبكرة من الإدراك، لكن ليس بالضرورة فى المراحل الأخيرة. يبدو الأمر إلى حد ما مثل تولى منصب فى العالم الأكاديمى- بمجرد الحصول عليه يمكن الاسترخاء قليلا.

أوجزْتُ معدل التأجج والتذبذب واستراتيجيات التشفير المتزامن. ألمح لاستراتيجية أخرى، **التشفير المؤقت المتناثر جدا** ultra-sparse temporal coding. بينما يمكن للخلايا العصبية الفردية فى المناطق اللحائية البدائية توليد ما يزيد عن ١٠٠ شوكة فى ثانية أو اثنتين، ربما تصدر خلية فى قرن آمون إشارة بحفنة من الشوكات. مثل هذا التأجج الضئيل لا يمكن أن يتوافق بسهولة مع الرأى التقليدى لتشفير المعدل إلا إذا حُسِب المعدل على تجمعات كبيرة من الخلايا العصبية. فى الشبكات الأخرى، يطلق محفز مناسب دفعة وجيزة من النشاط، لنقلْ من شوكة إلى ٤ شوكات فى ١٠ ثوانٍ تقريبا. فى الثوانى التالية تهدأ الخلية العصبية، مع غياب التأجج "التلقائى" تماما. قد تكون الخاصية الملاحَظة مذهلة، وتساهم الخلية بنغمة واحدة فى الموسيقى المستمرة، ثم يعم الصمت.(٤٤)

افتُرِض مبدأ بديل للتشفير.(٤٥) لا يُعرَف إلا القليل جدا عن المقياس المتوسط للتنظيم العصبى ـ ويشمل أى موضع بين بضع آلاف وعشرات الألوف من الخلايا

العصبية ـ حتى يصعب تحديد أى مخطط تشفير فى هذه النقطة من الزمن. يُمنَح التزامن المذبذب بروزًا خاصا فى هذا الكتاب لوجود دليل مهم على أهميته فى بحثنا.

٢ ـ ٤ الملخص

تشمل الارتباطات العصبية للوعى ائتلافات مؤقتة للخلايا العصبية، تشفر لأحداث أو أشياء معينة، وتنافس الائتلافات الأخرى. ثمة تجمع خاص- يوجهه الانتباه- ينبثق فائزًا بفضل قوة نشاطه المتأجج. يكبح الائتلاف الفائز، المناظر للمحتوى الحالى للوعى، التجمعات المنافسة لبعض الوقت حتى يتعب أو يتكيف أو يهزمه مُدْخَل جديد ويظهر منتصر جديد. وإذا وضعنا فى الاعتبار سيادة ائتلاف أو بضعة ائتلافات فى أية لحظة، يمكننا الحديث عن المعالجة المتعاقبة دون تضمين أية عملية تشبه الساعة. ويمكن مقارنة هذه العملية الديناميكية بالسياسة فى مجتمع ديموقراطى تتشكل فيه جبهات انتخابية ومجموعات مهتمة وتنحل باستمرار.

أفترض أنا وفرنسيس أن الارتباطات العصبية للوعى تُشيَّد على أساس تمثيل عصبى صريح. تصبح خاصية ما صريحة إذا شفرت مجموعة صغيرة من الخلايا العصبية اللحائية المتجاورة هذه الخاصية. عمق الحساب المتأصل فى تمثيل ضمنى أكثر ضحالة من عمقه فى التمثيل الصريح. والمعالجة الإضافية ضرورية لتحويل تمثيل ضمنى إلى صريح. ومن أمثلة التمثيل الصريح توجه المحفز فى اللحاء البصرى الأولي أو تشفير الوجه أسفل الفص الصدغى. والتمثيل الصريح شرط ضرورى لكنه غير كافٍ للارتباطات العصبية للوعى.

العقدة الأساسية جزء من الدماغ يؤدى، حين يُدمَّر، إلى عيب معين فى فئة من المُدْرَكات، مثل إدراك الوجه أو الحركة أو اللون أو الخوف. نفترض أن موضع التمثيل الصريح لخاصية ما يناظر عقدتها الأساسية.

الركيزة العصبية للمفهومين هى التنظيم العمودى للمعلومات. أى أن خاصية مجال الاستقبال المشترك لخلايا تحت بقعة من اللحاء تناظر العقدة الأساسية لهذه الخاصية وتناظر تمثيلا صريحا.

يمكن للنشاط العصبى أن يأخذ أشكالا متنوعة. الأساسى فيها جميعا هو الانتشار السريع للمعلومات عبر الدماغ عن طريق جهود الفعل. تفترض شفرة معدل التأجج أن الاهتمام المتغير يشفره بشكل صرف عدد من الشوكات تطلقها خلية عصبية فى فترة ذات معنى، أى بمقدار ارتفاع صياحها. تُستخدَم معدلات التأجج على نطاق واسع فى الجهاز العصبى وخاصة فى الأطراف حيث يمكن أن تتجاوز المعدلات المستمرة ١٠٠ شوكة فى الثانية. ما يبقى مثيرًا للخلاف مدى انتشار استراتيجيات التشفير الإضافى، مثل التشفير عن طريق التذبذبات أو عن طريق التزامن.

اقترحتُ أنا وفرنسيس فى وقت سابق أن الإدراك الواعى يتأسس على التأجج المتزامن لتجمعات عصبية تزيد وتنقص بشكل إيقاعى وتتفاعل معًا فى بضع مئات من ملى ثانية. بينما تدعم معلومات ضئيلة هذا الحدس مباشرة، فثمة أدلة على أن نشاط التأجج المذبذب حول ٤٠ دورة فى الثانية، مع إطلاق الشوكات المتزامنة، مطلوب لبناءِ مُدرَك عند تنافس أكثر من مُدْخَل على الانتباه.

مجهزا بهذا الإطار، أوجز الآن تصميم الجهاز البصرى فى الثدييات فى الفصلين الثالث والرابع. وكلما أمكن أربط صفاته العصبية والمعمارية بخصائص معينة فى الرؤية الواعية.

الهوامش:

(١) فينمان Feynman (١٩١٨ - ١٩٨٨): فيزيائى أمريكى، حصل على نوبل عام ١٩٦٥ (المترجم).

(٢) تنشأ هذه الخلافات لصعوبة تكرار الشروط بدقة حين نتعامل مع كائنات معقدة. حتى ما يبدو اختلافات دقيقة فى البرتوكولات "المتماثلة"، مثل مستوى الضوء فى الخلفية، إن كان الحيوان مثبتا أم يتطلع بحرية، إن كان يافعا أم بالغا، الظروف التى تربى فى ظلها، إلخ، يمكن أن تؤثر بشكل دال فى نتائج التجربة. بلا شك، بعض الاختلاف الملحوظ نتيجة الإرث الجينى للكائنات، لكن حتى الكائنات المتماثلة جينيا، المتناسخة، التى تستمر على نفس التغذية وجدول النهار والليل، تظهر قدرا مدهشا من الاختلافات فى سلوكها. يظهر فردٌ تأثيرا لا يظهره الفرد التالى.

(٣) كيف تتشكل محددات الخصائص؟ عموما، تفعل الخلايا العصبية هذا بتحديد ارتباطات عامة فى المُدْخَل وتعديل مشابكها (وربما خصائص أخرى) بحيث تستجيب بشكل أسهل.

(٤) أعود إلى موضوع تلف الدماغ فى الفصل الثالث عشر. ونتناول بعض مناطق اللحاء المتخصصة فى صفات محفزات معينة فى الفصل الثامن.

(٥) صيغ هذا الالتباس بمصطلحات رياضية باعتبار الإدراك فئة من المشاكل فى وضع سيئ (Poggio, Torre, and Koch,1985).

(٦) الإحلال filling-in مصطلح شامل يستخدم لإدراك ظواهر معينة تشمل إكمال الحد الوهمى (الشكل ٢-٥)، البقعة العمياء فى الشبكية (القسم ٣-٢)، الحركة الظاهرية لبقعة تختفى خلف صندوق يحجبها، شكل شىء مختفٍ جزئيا، وخبرات أخرى حيث ترى بوضوح شيئا ليس موجودًا (للاطلاع على تصنيف لهذه الظواهر وما تتضمنه فى فلسفة العقل، انظر Pessoa, Thompson, and Noë, 1998) يجعل الإحلال وإعادة تفسير بيانات ناقصة أو متضاربة كلام البشر جليا. عند مقارنة شريط فيديو لفرنسيس كريك فى مقابلة حول عملنا بالنسخة الحقيقية كلمة كلمة، أذهلنى التباين بين ما سمعتُ وما قاله فرنسيس حقا. لم ألاحظ ببساطة جمله الناقصة، الكلمات المحذوفة، والتكرارات. النزعات القوية اللاشعورية التى تحكم الحيوات الاجتماعية للبشر فى شكل تعصب للنوع

أو العرق أو العمر، متولدة من مجموع خبرات الحياة، تجليات أخرى للإحلال الذى يعمل فى مستوى معرفى. ليس من هذه التأثيرات مسألة استنباط منطقى لوجود شىء ما، مماثل لسلسلة شارلوك هولمز من التبرير المؤسس على ملاحظات دقيقة. بالأحرى، يستنتج الدماغ تلقائيا الأوجه المفقودة فى المحفز ويقدمها فى صورة مدرك واضح تماما.

(٧) ترجع فكرة وجود مجموعة من الخلايا، تجمعات عصبية، وراء المدركات إلى زمن بعيد. وأفضل مؤيديها فى القرن العشرين Hebb, 1949 انظر أيضًا Freeman, 1975. Harris et al., 2003 ؛Varela et al., 2001 ؛Flohr, 2000 ؛ Palm, 1982,1990 تتضمن الائتلافات تجمعات عصبية إضافة إلى التنافس بينها. طور Desimone and Duncan, 1995 فكرة أن الانتباه يوجه القتال من أجل السيادة بين هذه الائتلافات. ونتناول هذا فى الفصل العاشر.

(٨) توحى أيضًا، خطأ، بإمكانية أن يكون هناك فائز وحيد فى التنافس العصبى على السيادة.

(٩) يناقش Bennett, 1988 العمق المنطقى. ويقدم Norretranders, 1998 تفسيرا حيا وواضحًا لكيفية تطبيقه على الكمبيوترات والأدمغة.

(١٠) بكسيل pixel: أصغر وحدة مكونة للصورة (المترجم).

(١١) صمام ثنائى diode: أداة شبه موصلة بطرفين تسمح بمرور التيار فى اتجاه واحد (المترجم).

(١٢) يمكن صياغة مفهومنا للصريح والضمنى بالإلحاح على أن الخاصية، أو الموضوع، التى يجب تمثيلها واستنباطها من مجموعة خلايا مقيّمة بشكل مناسب، خطية أو غير خطية. وهكذا فإن التمثيل الصريح لوجه تمثيل يمكن فيه لشبكة عصبية من طبقة واحدة أن تحدد إن كان الوجه موجودا أم لا فى النشاط المتأجج لمجموعة خلايا عصبية. بهذه الطريقة، يمكن تعريف التمثيل الصريح دون الاعتماد على ملاحظ. عمومًا، يجب أن يتأسس أى تمثيل صريح فى مرحلة ضمنية سابقة.

(١٣) بالطبع، لم تولد القرود بخلايا خاصة بالدبابيس. بالأحرى الحيوانات تتدرب على تمييز إطار سلكى مثني من الدبابيس المشوّشة، وتعيد مشابك اللحاء تنظيم نفسها للقيام بهذه المهمة (Logothetis et al., 1994؛ Logothetis and Pauls, 1995). اختار المختبرون الدبابيس؛ لأن الحيوانات لم تتعرض لها من قبل. يناقش Kobatake, Wang and Tanaka, 1998؛ Sheinberg and Logothetis, 2001، تأثير التدريب على استجابات الخلايا.

(١٤) من المعروف أن العمود الرأسى لخلايا اللحاء الجديد، من أصل جنينى مشترك، مكوّن أساسى لتنظيم الدماغ، منذ اكتشفه ووصفه لورين دى نو Lorente de No ومونتكاسل. الوحدة الفرعية عمود ضئيل، يضم حوالى ١٠٠ خلية عصبية، ويتشكل العمود من عدد كبير من الأعمدة الضئيلة (Buxhoeveden and Mountcastle, 1998, Rakic, 1995 Casanova 2002).

(١٥) انظر الهامش ٢٣ فى الفصل الرابع.

(١٦) يُعرّض مفهوم خلايا الجدة، وتسمى أيضا الخلايا الغنوصية، فى كتاب للعالم البولندى Jerzy Konorski, 1967. فى علم وظائف الأعصاب قدم العالم البريطانى فى الكهروفسيولوجيا هوراس بارلو (Barlow, 1972) نقدا مبكرا، مفترضا بدلا من ذلك تخطيطا شفريا فيه ألف خلية رئيسية تمثل مدّركات فردية. اكتشف تشالرز جروس Gross وزملاؤه، فى معهد ماسشوسيتس للتكنولوجيا فى كمبريدج، خلايا فى اللحاء الصدغى السفلى تتأجج بشكل انتقائى للأيدى والأوجه، قدم دفعة لأفكار كونوفسكى (Gross, Rocha-Miranda and ;Gross, Bender, and Rocha-Miranda, 1969 Bender,1972). يراجع Gross, 2002 ;Barlow, 1995 السياق التاريخى. تشمل الكتب الدراسية التى تناقش بعمق مختلف الطرق التى يمكن أن تمثل بها مجموعات الخلايا العصبية المعلومات.

Dayan and Abbott, 2001 Roa, Olshausen and Lewicki, 2002 ; and Rolls and Deco, 2002.

(١٧) يندر تسجيل النشاط المتأجج لخلايا عصبية مفردة فى لحاء الإنسان. حصلنا على كل هذه البيانات تقريبا من دراسة بعض مرضى الصرع. للقضاء على نوبات صرع متكررة لا تستجيب للعلاج، أو تقليلها، يتطلب الأمر تدمير جزء من الدماغ مسئول عن إثارة نوبات الصرع. مما يوفر فرصة لتسجيل نشاط خلايا مفردة أثناء العملية نفسها أو أثناء المراقبة المستمرة لأسبوع قبلها، حين تُغرّس أقطاب كهربية مباشرة فى دماغ المريض للمساعدة فى تحديد موضع البؤرة الأولية للنوبات. للاطلاع على تعليق سهل جدا على هذه الإجراءات، انظر الكتاب الجماهيرى Calvin and Ojemann, 1994 ، أو كتاب Ojemann, Ojemann and Fried, 1998. العمل الذى عن التمثيل البصرى فى خلايا لحائية مفردة فى البشر الذى أشير إليه قام به جبريل كريمان Kreiman، حين كان طالبا فى مختبرى، بتوجيه من إسحاق فريد Kreiman, Koch, and Fried, 2000a,b Krieman, Fried, and Koch, 2002).

(١٨) الرياضيات: فى الأصل combinatorics، فرع من الرياضيات يتناول تجميعا لأشياء تنتمى لفئة متناهية طبقا لقيود معينة (المترجم).

(١٩) يقدر Abbott, Rolls and Touvee, 1996 أن ٢٥ خلية عصبية من الفص الصدغى يمكن أن تحدد وجها من ثلاثة آلاف وجه مختلف بأفضل ما يمكن. أى أن هذه الشبكة الضئيلة يمكن أن تصف كل وجه من هذه الوجوه باعتباره مألوفًا أو غير مألوف. مثل هذه القدرات الحسابية توفرت أيضا لقدرة خلايا الموضع فى قرن آمون الفأر لتشير إلى موضع جسمه باستخدام الإشارات البصرية وإشارات أخرى. تكفى عادة ١٠٠ خلية موضع لتشفير منطقة ١× ١ متر بوضوح فضائى يصل إلى بضعة سنتيمترات (Zhang et al., 1998 Brown et al., 1998). بالمثل، يمكن أن تشير حوالى ١٠٠ خلية لحائية إلى اتجاه سحابة متحركة من النقط (Shalden et al., 1996).

(٢٠) جيتانو كانيستا Gaetano Kanizsa (١٩١٣ ـ ١٩٩٣) عالم وفنان إيطالى (المترجم).

(٢١) Zeki, 2001 ;Zeki and Bartels, 1999 ;Adolphs et al., 1999.

(٢٢) التعليقان الكلاسيكيان على عمى الألوان الكلى أو النصفى فى Meadows, 1974؛ Zeki, 1990. وهناك تواز هش مع الجينات. ويحدث هذا عادة فى خلايا زوجية (واحدة من الأم والأخرى من الأب). يمكن أن تكون التحورات متنحية أو سائدة (مع تدرج بينهما). لابد من حدوث التحور المتنحى فى النسختين لتغيير النمط الظاهرى؛ يتطلب التحور السائد حدوث التغير فى واحدة منهما. يتم التحكم فى بعض خصائص النمط الظاهرى بجين واحد. وكثيرا ما يكون النمط الظاهرى تحت سيطرة أكثر من جين. على العكس، يمكن أن يؤثر جين فى أكثر من وجه من أوجه النمط الظاهرى. فى الدماغ، يمكن مواجهة مضاعفات مماثلة ترتبط بفكرة العقدة الأساسية.

(٢٣) لا يصح هذا فى بعض الحيوانات الصغيرة. كما تتوقع المناقشات النظرية (Niebur and Erdos, 1993)، تخلو الدودة المدورة (C. elegans) من قنوات الصوديوم الضرورية لجهود الفعل السريعة المنتشرة فى الفقاريات، والمفصليات، وسلالات أخرى (Bargmann, 1998).

(٢٤) الإفبس ephapse نقطة التقاء بين الخلايا العصبية، والإفبسى الاتصال الكهربى لنبضة عصبية عبر الإفبس دون توسط ناقل عصبى. انظر المصطلحات (المترجم).

(٢٥) يقدم Holt and Koch, 1999 نموذجا للفيزياء الحيوية للتفاعلات الإفبسية بين المحاور والخلايا العصبية. يمكن لجهود كهربية متدرجة فى الخلايا العصبية توصيل المعلومات لمسافات قصيرة، كما هو الحال فى الشبكية.

(٢٦) تُظهر شبكات الخلايا العصبية البينية اللحائية الكابحة المرتبطة بروابط الفجوات نشاطًا إيقاعيا، متزامنا حوالى ٨ هرتز Beirlein, Gibson, Beirlein, and Conner,1999 Blatow et al., 2003. Gibson and Conner,2000

(٢٧) يمكن لشوكات مفردة نقل بيتات bits كثيرة من معلومات محفزة. وهذه المعدلات قريبة من القيود العليا على نقل المعلومات فى قنوات الاتصال العصبية الصاخبة. يقدم الكتاب المدهش Ricke et al., 1996 المقاربة النظرية للمعلومات للتشفير العصبى.

(٢٨) كريبديس Charybdis: دوامة على ساحل صقلية، تتجسد فى صورة وحش بحرى يبتلع السفن الموجودة قبالة كهف سيلا Scylla، وهى وحش بحرى أنثوى يبتلع البحَّارة (المترجم).

(٢٩) إذا وضعنا فى الاعتبار السهولة التى تنشئ بها الفئران المعدلة وراثيا، التى عُدِّلتْ مستقبلاتها المشبكية نوبات الصرع، فلابد أن منع الإثارة الخاطفة كان قيدا تطوريا رئيسيا. يناقش Crick and Koch, 1998a النتائج فى التشريح العصبى للحاء.

(٣٠) يعكس رسم المخ الكهربى فى الأساس مساهمة تيارات الغشاء المشبكى وغشاء التفريعات الشجرية وبشكل غير مباشر فقط تيارات جهود الفعل (Freeman, 1975؛ Creutzfeldt and Houchin, 1984؛ Creutzfeldt, 1995؛ Mountcastle,1998).

(٣١) يصف تذبذبات ثيتا فى الإنسان Kahana et al., 1999؛ Klimesch, 1999. للاطلاع على بيانات ذات صلة عن الخلية المفردة، انظر O'Keefe and Recce, 1993؛ Buzsáki, 2002.

(٣٢) تحويل فوريه Fourier transform: دالة رياضية مشتقة من دالة معينة غير دورية وتمثلها فى سلسلة دوال جيبية. فوريه (١٧٦٨-١٨٣٠)، رياضى وفيزيائى فرنسى (المترجم).

(٣٣) أدرك والتر فريمان Freeman فى جامعة كاليفورنيا فى بيركيلى Barkeley مبكرا أهمية جهد هذه الذبذبات لمعالجة المعلومات الخاصة بالشم (Freeman, 1975). البحث الأصلى الذى أثار الاستكشاف الحديث لذبذبات ٤٠ هرتز فى Gray and . Singer, 1989 ثمة دراسات أخرى مرتبطة بالموضوع تشمل Eckhorn et al., 1988؛ Engel et al., 1990؛ Kreiter and Singer؛ Sejnowski, 1997؛ Friedman-Hill, Maldonado and Gray, 2000.

(٣٤) يربط Revonsuo et al., 1997؛ Keil et al., 1999؛ Rodriguez et al., 1999؛ Tallon-Baudry and Bertrand؛ Klemm, Li and Hernandez, 2000، أوجه معينة من الإدراك البصرى بالقوة الزائدة فى حزمة تردد جاما (وغالبا نقص مصاحب فى حزم رسم المخ الكهربى ذات التردد الأقل). يراجع إنجل وسينجر هذه الأدبيات. ما يجعل تفسير هذه البيانات مشكلة فيما يتعلق بالآليات العصبية المسئولة أن رسم المخ الكهربى يمثل التوقيع الكهربى التراكمى المرتبط بنشاط يحدث فى مناطق كبيرة من نسيج الدماغ، ويحتوى على ما يقرب من ١٠٠٠٠٠ خلية عصبية متميزة فى كل ١مم^{٣}. يلخص Varela et al., 2001 مخاطر تقنيات رسم المخ الكهربى ووعوده لحل شفرة الدماغ الديناميكى. تلطف التطورات الحسابية الحديثة (Makeig et al., 2002) من التأثيرات الضارة لأخذ متوسط الإشارة الكهربية لمئات المحاولات.

(٣٥) يُظهر الجهد السمعى المستثار المسجل من فروة رأس الإنسان موجتين أو ثلاثا يفصل بينها من ٢٠-٣٠ ملى ثانية. (Galambos, Makeig and Talmachoff, 1981) للاطلاع على الرابطة مع علم التخدير، انظر Madler and Pöppel, 1987؛ Sennholz, 2000.

(٣٦) يمكن أن يتقلص كثيرا عدد المشابك المطلوبة لإطلاق شوكة إذا تجمعت المدخلات المشبكية إلى المشبك على تفريعة شجيرة فى القمة أو حولها، وفى وجود كثافة من التيارات الكهربية المعتمدة على الصوديوم والكالسيوم. توضح المحفزات الموثوق بها من جانب الفيزياء الحيوية، مبدئيا، أن الخلايا العصبية الهرمية ذات التيارات المعتمدة على شدة التيار فى التفريعات الشجرية يمكن أن تكون حساسة لتزامن جزء من ملى ثانية فى المدخل المشبكى (Softky, 1995). التحول المستمر فى جهد الهجوع فى الخلية يمكن

أن يقرب الخلية العصبية من العتبة، بحيث يكفى عدد أقل من المدخلات المشبكية لإطلاق جهود الفعل. للاطلاع على عرض كتاب شامل عن التكامل المشبكى للخلايا العصبية اللحائية، انظر Koch, 1999.

(٣٧) التقرير الأصلى von de Malsburg, 1981 صعب الفهم إلى حد ما. لمراجعة حديثة أسهل، انظر von de Malsburg, 1999.

(٣٨) العمل الأصلى الذى يذكر التزامن بين خلايا اللحاء البصرى الأولي فى القطط هو عمل Gray et al., 1989. ومد Kreiter and Siger, 1996 هذه النتائج إلى المنطقة الصدغية الوسطى فى القرود الآسيوية اليقظة (لكن انظر Theile and Stoner, 2003).

(٣٩) للاطلاع على مراجعات، انظر Gray, 1999؛ Singer, 1999؛ Singer and Engel, 2001. يقدم Shadlen and Movshon, 1999 تقييما نقديا لهذه الأفكار. البيانات الأكثر انتشارا عن ارتباط النشاط المذبذب والمتزامن بالسلوك حصل عليها جيلز لورينت Gilles Laurent ومجموعته فى معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا فى جهاز الشم فى الحشرات Laurent, 1999 MacLeod, Backer, and Laurent, 1998, Stopfer et al., 1997؛ Laurent et al., 2001

(٤٠) Engel et al. 1991.

(٤١) العملان الأصليان المنشوران هما Crick and Koch,1990a,b؛ انظر أيضًا Crick, 1994. يقدم Horgan, 1996 تعليقا صحفيا ممتعا مع لفتة "ذات مسحة علمية". يراجع Metzinger, 2000؛ Engel and Singer, 2001 الأدلة ذات الصلة لصالح فرضيتنا.

(٤٢) إحدى المشاكل معرفة نوع الخلية العصبية التى يتم التسجيل منها. إلى أين تمتد؟ من أين تستقبل معظم المعلومات؟ ثمة صعوبة أخرى مهيمنة وهى اكتشاف الروابط المتقاطعة بين خليتين عصبيتين تمثلان جزءا من ائتلاف كبير يضم ألفًا أو أكثر من الأعضاء. الزيادة فى الارتباط بين خليتين عصبيتين قد تكون ضئيلة، ويتطلب التقاطها تكرارًا لا نهائيا للوصول إلى دلالة إحصائية، ويثير شبح فرد يتعلم الاستجابة بطريقة تلقائية لاشعورية. إضافة إلى ذلك، ينبغى فصل التزامن نتيجة المحفز ذاته عن التزامن الناتج عن الارتباطات المناظرة وارتباطات التغذية الرجعية (إذا زاد معدل تأجج خليتين عصبيتين من ٢٠ إلى ٤٠ شوكة فى الثانية، يزيد عدد الشوكات المتزامنة تلقائيا إلى مائة ضعف، حتى لو كانتا تتأججان بشكل عشوائى تماما). تتطلب كل هذه المشاكل تقنيات تجريبية وحسابية متطورة. هذه قضايا صعبة يجب معالجتها، لكن العلم قادر على المهمة!

(٤٣) يمكن لتزامن ضئيل بين المدخلات أن يقطع طريقا طويلة ليزيد تأثيرها بعد المشبكى (Salinas and Sejnowski, 2001).

(٤٤) مُيِّز التشفيــر المؤقــت المتنــاثر جــدا بأفضل صــورة فــى جهــاز الــشم فــى صرار الليـل (Perez-Orive et al., 2002) وفـــى المســـار الحــركى للطـــائر المغـــرد (Hahnloser, and Kozhevnikov, Fee, 2002). كابوسى أن تستخدم تلك الخلايا العصبية اللحائية المرتبطة بالارتباطات العصبية للوعى مبدأ التشفير ذاته. ودون معرفة دقيقة بهوية الخلايا العصبية المسجَّلة، من الصعب جدا اكتشاف رسالتها وحل شفرتها فى جلبة يصنعها جيرانها الأكثر تشوشا.

(٤٥) تشمل المخططات الأخرى للتشفير نموذج سلسلة التأجج المتزامن (Abeles, 1991; Abeles et al., 1993) ونمــاذج شــوكــة لأول مــرة (Van Rullen and Thorpe, 2001). يراجع Ermentrout and Kleinfeld, 2001 الدليل على الموجات المتنقلة والواقفة والمتعاقبة فى نسيج اللحاء. العلاقة المحتملة للانفجار بالإدراك والذاكرة يوضحها Crick, 1984 - Crick and Koch, 1994 and Lisman, 1997:. والانفجار تتابع نمطى من ٢ـ٥ جهود فعل يحدث فى ١٠ـ٤٠ ملى ثانية، تتبعه فترة ممانعة عميقة (Koch, 1999). يقدم كتاب Rao, Olshausen and Lewicki تعليقا رائعا على هذه الاستراتيجيات واستراتيجيات تشفير أخرى محتملة.

الفصل الثالث

الخطوات الأولى فى الرؤية

الرب الطيب فى التفاصيل

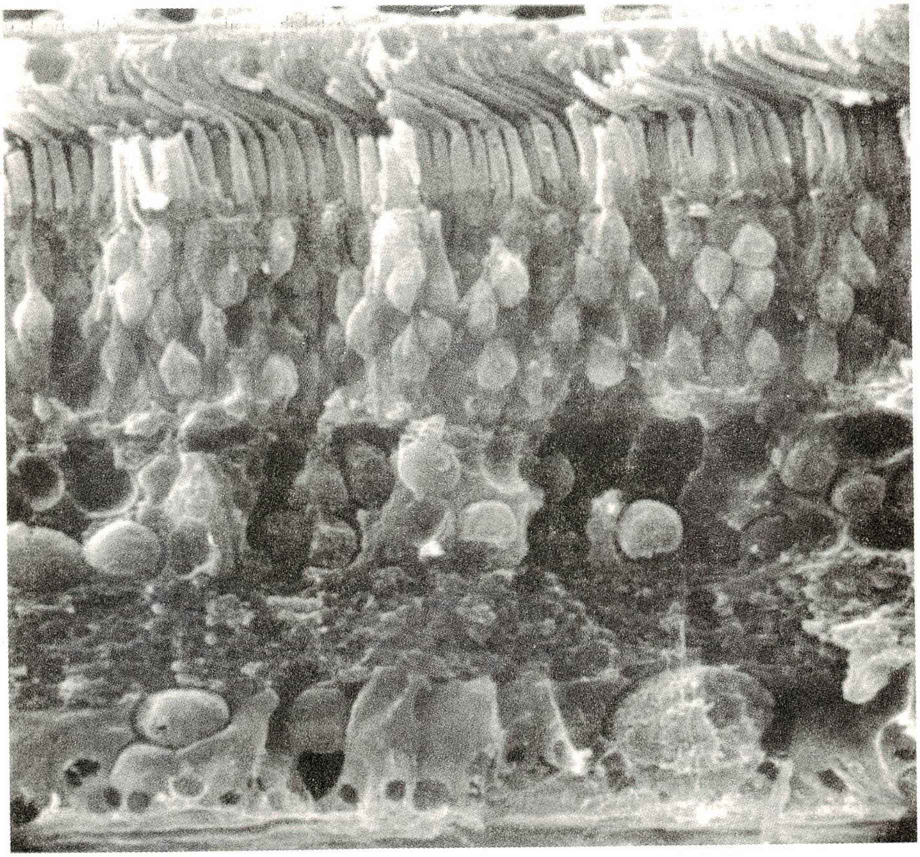
تنسب لجوستاف فلوبير [١]

يؤكد آخرون أن الشيطان فى التفاصيل. بصرف النظر عن المسئول عن التفاصيل الدقيقة للواقع، يركز العلم بلا شك على التفاصيل والأجزاء والآليات. يمكن أن أكتب بشكل غنائى عن الوعى والكوليا والزومبيات، لكن بعض الحقائق الأساسية عن الدماغ أساسية لفهم طريقة عمله. ولأن معظم هذا الكتاب يهتم بالرؤية أبدأ بوصف معالجة الشبكية وحركات العين. تناقش الفصول التالية أوجه الرؤية التى تعتمد على اللحاء. وكثيراً ما تتصادم القصة التى تنبثق مع البديهيات العميقة لدى الناس عن الطريقة التى يرون بها.

٣ - ١ الشبكية بنية ذات طبقات

ترى بمرور ضوء خلال قرنية عينك وعدستها. تعمل العينان مثل كاميرا، تركزان صورة مقلوبة للمشهد على الشبكية عبر الجِلّ الزجاجى vitreous gel داخل مقلة العين. يقطع الضوء هذا الجهاز العصبى الدقيق قبل امتصاص الفوتونات[٢] الفردية فى المستقبلات الضوئية خلف الشبكية (الشكل ٣-١). تتحول الإشارات البصرية إلى إشارات كهربية تعالجها، فى سلسلة خطوات معقدة، الخلايا الأفقية، وذات القطبين، والأماكرين، والعقدية.[٣] حدد إحصاء

حوالى ستين نوعًا متميزًا من الخلايا، وقد يكون لكل نوع وظيفة متميزة. يحبط هذا العدد الكبير الفيزيائيين والرياضيين المدربين على البحث عن مبادئ بسيطة وقوية وعامة لتفسير تصميم الدماغ ووظيفته. وهو أيضًا بمثابة تحذير بأن العدد النهائى من ممثلى الخلايا المتميزة بالنسبة للحاء وتوابعه قد يبلغ بسهولة عدة مئات.(٤)



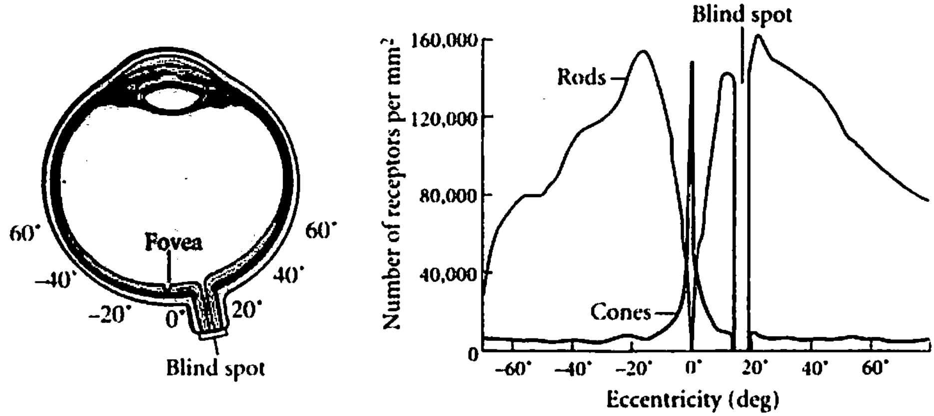
الشكل ٣ـ١ قطاع عرضى فى الشبكية: فى هذه الصورة يصل الضوء من أسفل ويمر خلال الشبكية كلها (شبكية أرنب) قبل أن يؤدى إلى تفاعل كيميائى ضوئى فى المستقبلات الضوئية (فى القمة). تنفذ المعلومات البصرية، متحولة إلى تغيرات فى الجهد الكهربى عبر الغشاء، فى اتجاه عكسى خلال طبقات الخلايا المتنوعة حتى تؤدى إلى جهد فعل كامل أو لا تؤدى شيئا فى الخلايا العقدية (فى القاع). يشكل أكثر من مليون محور خلية عقدية العصب البصرى الذى تنتقل فيه الشوكات إلى مراحل معالجة أكثر مركزية. حقوق النشر بواسطة Tissues and Organs: A Text-Atlas of Scan Kardon,. H. Kessel and R .G.R ning Elec tron Microscopy, W.H .Freeman & Co., 1979 كل الحقوق محفوظة

تعزز خلايا الشبكية التباين المكانى والزمانى وتشفر معلومات طول الموجة بتقييم الاصطياد المميز للفوتون فى مجموعات المستقبلات الضوئية. لا ترتبط تفاصيل هذه المعالجة ببحثى ارتباطًا مباشرًا.(٥) النتاج الوحيد للشبكية ١,٥ مليون محور من محاور الخلايا العقدية تشكل العصب البصرى.

يكشف فحص كاميرا فيديو متطورة تحت الميكروسكوب عن ملايين من عناصر الدوائر المماثلة على سطح الصورة. مثل تطور من التطورات السكنية الجديدة الكبيرة فى الغرب الأمريكى، تتكرر بضعة تصميمات أساسية بشكل لا نهائى. تتبع العين استراتيجية مختلفة فى التصميم.

ينتشر نوعان من المستقبلات الضوئية بشكل غير منتظم عبر الشبكية. يعمل حوالى مائة مليون عُصيّة rods بشكل أفضل فى الضوء الخافت، بينما تتوسط خمسة ملايين مخروط cones، تستجيب بشكل أسرع من العصيات، للرؤية فى ضوء النهار. فى معظم النشاط اليومى (بما فى ذلك القراءة)، نتاج العصيات مشبّع وتقدم المخروطيات وحدها إشارة يعوّل عليها.

توجد نقطة أعلى وضوحًا فى الجزء المركزى من النقرة fovea (الشكل ٣-٢). الرؤية أقوى ما تكون هنا. تهبط الكثافة الفعالة لمستقبلات المخروطيات بسرعة مع الابتعاد عن النقرة، إلى مستوى أقل من ١٢ درجة من زاوية الرؤية، أو اللامركزية eccentricity، بعيدًا عن النقرة. تُمثّل الدرجة المركزية من الرؤية بشكل مفرط تماما بكل من المستقبلات الضوئية والخلايا العقدية على حساب بقية المجال البصرى(٦).



الشكل ٣-٢ المستقبلات الضوئية موزعة بشكل غير منتظم: قطاع عرضى تخطيطى للعين على اليسار. الزاوية المرتبطة بنقطة الرؤية الأكثر حدة، النقرة، يشار إليها بأنها لا مركزية. تنخفض كثافة المخروطيات فجأة خارج النقرة. بالعكس، الرؤية الليلية، التى تتوسط فيها العصيات الأكثر شيوعا بكثير، تكون فى أفضل أشكالها على بعد. لا توجد مستقبلات تحدد السطوع القادم فى البقعة العمياء، حيث تشكل محاور الخلايا العقدية العصب البصرى الذى يصل العين بالدماغ. معدل عن Wandell, 1995.

بسبب التوزيع غير المنتظم للمستقبلات ـ عدد كبير فى المركز وعدد ضئيل فى الأطراف ـ يحرك البشر عيونهم باستمرار لربط النقرة بالأجزاء موضع الاهتمام من البيئة. تسمح هذه الحركة للخلايا العصبية فى الشبكية برؤية تلك المنطقة بأوضح ما يكون. بشكل ذاتى، لا يُلاحَظ عمومًا التوزيع غير المنتظم للخلايا الضوئية. تبدو الرؤية فى كل مكان حادة وواضحة ـ وهم، لكنه وهم يفرض نفسه. حتى الفحص الخاطف يكشف أنك لا تستطيع رؤية ذلك كله بشكل جيد "بطرف عينيك". ثبت "*" المركزية فى السطر التالى وحاول تحديد أقصى ما تستطيع من الحروف دون تحريك عينيك:

txet siht fo tsom * daer t'nac uoy

لن تستطيع قراءة أكثر من حرفين أو ثلاثة فى كل جانب. لرؤية كل حرف بشكل مريح، يتطلب الأمر زيادة حجم الحروف لتزداد بشكل يتناسب طرديا مع المسافة عن البقعة المركزية.

٣ - ٢ تستخدم رؤية اللون ثلاثة أنواع من المخروطيات

الفهم الذى يحظى بتقدير كبير للون هو بناء الجهاز العصبى، محسوبا بمقارنة نشاط مختلف أنواع المخروطيات. لا توجد أشياء "حمراء" أو "زرقاء" فى العالم. تبعث مصادر الضوء، من قبيل الشمس، موجات كهرومغناطيسية بمجال واسع لطول الموجة. تعكس الأسطح هذه الأشعة فوق مجال مستمر ويستمر السطوع متوقفًا على العينين أيضًا. لكننا نستمر جميعا فى وصف الأشياء بالأحمر والأزرق والبنفسجى والأرجوانى والقرمزى، إلخ. اللون ليس كمية فيزيائية مباشرة، كما هو حال العمق أو طول الموجة، لكنه كمية اصطناعية. تختلف الأنواع المختلفة فى عدد أنواع المخروطيات، وبالتالى ترى ألوانًا مختلفة تمامًا للأشياء ذاتها. على سبيل المثال، فى بعض أنواع الجمبرى ١١ فئة من المخروطيات. لابد أن عالمها صاخب بالألوان!

معظم الثدييات تدبر أمورها بنوعين من المستقبلات المخروطية. الاستثناءات هى البشر والقردة العليا، وقرود العالم القديم؛ فلديها ثلاثة أنواع. يشار للمخروطيات، وتتميز بأجزاء طيف الضوء الحساسة لكل منها أكثر، بالمخروطيات قصيرة الموجة ومتوسطة الموجة وطويلة الموجة. نتيجة التداخل فى حساسية المستقبلات، يمكن امتصاص أى فوتون بالأصباغ الضوئية فى مختلف أنواع المستقبلات. إجمالا، تشير كل فئة من المخروطيات إلى عدد الفوتونات التى تمتصها لكن لا يوجد شىء صريح بشأن التكوين الطيفى للضوء. فى هذه المرحلة المبكرة، يُشفَّر اللونُ ضمنيا بثلاثة أرقام، النشاط النسبى للأنواع الثلاثة من المخروطيات، أساس **نظرية الألوان الثلاثة** trichromacy theory الشهيرة عن رؤية الألوان لكل من توماس يانج Young وهيرمان فون هيلمهولتز Helmholtz. الآن وقد فُهِم المزيد عن التنوع الجينى فى الأصباغ الضوئية فى البشر، تحتاج

الألوان الثلاثة إلى التوسع لتلائم إدراك النساء للون بأربع فئات من المستقبلات الضوئية المخروطية والرجال باثنتين فقط.[٧]

لا تتوزع الأنواع الثلاثة من المخروطيات بانتظام فى أى نقطة غير مركزية. تغيب المخروطيات قصيرة الموجة عن الجزء المركزى من النقرة. وإذا وضعنا فى الاعتبار أنها نقطة الرؤية الأكثر حدة، فستعتقد أن هذا العيب واضح لأى شخص. لا يمكن أن يُرَى مباشرة، رغم ذلك، وينبغى استنباطه. والطريقة التى يتم بها هذا أن يُطلب من الملاحِظين النظر إلى حلقة بنفسجية (فكِّرْ فى الكعكة الهشة؛ انظر الصف السفلى من الشكل ٣-٤) بثقب فى المركز. طالما يركز الأشخاص على مركز الحلقة بدقة، فإنهم يضعون الثقب على جزء من الشبكية خالٍ من المخروطيات قصيرة الموجة، ويفترض الدماغ أن المحفز البنفسجى المحيط يمتد إلى المركز. ونتيجة لذلك، يُرَى قرصٌ كامل وليس حلقة. وقد ذكرْتُ بالفعل فى القسم ٢-١ أن استنباط بيانات مفقودة يتأسس على معلومات من المناطق المجاورة عمل يقوم به الدماغ فى كل وقت. [٨]

حتى خارج النقرة، المخروطيات قصيرة الموجة أقل بكثير من المخروطيات متوسطة الموجة وطويلة الموجة. إضافة إلى ذلك، تتشابك رُقعٌ من الشبكية تسود فيها المستقبلات متوسطة الموجة مع رقع تسود فيها المخروطيات طويلة الموجة. لا يتضح هذا التوزيع غير المنتظم، مع ذلك، عند التطلع إلى أسطح منتظمة اللون، تبدو منقطة، ربما بسبب آليات التعويض التى تعمل فى كل أرجاء المجال البصرى، كل جزء من وظيفة الخداع العظيم يسمى إدراكًا. [٩]

٣-٣ ثقب فى العين: البقعة العمياء

تتجمع معًا فى حزمة، على مسافة ما من النقرة، محاور كل الخلايا العقدية، وتخرج من العين (الشكل ٣-٢). لا توجد مستقبلات ضوئية فى هذه المنطقة. ومن ثم ليست هناك أيضًا معلومات مباشرة عن هذا الجزء من الصورة. هذه هى **البقعة العمياء blind spot**. [١٠]

بشكل طبيعى، يعوِّض مُدْخَلُ عينِ البقعةَ العمياءَ فى العين الأخرى. لكن حتى لو أغلقْتَ عينك، لن ترى ثقبا فى مجال إبصارك. لكن بكسيلا pixel واحدًا سيئًا

فى كاميرا فيديو منزلك يتجلى فى بقعة سوداء بشعة فى كل أطر الصور. ما الفرق إذن؟

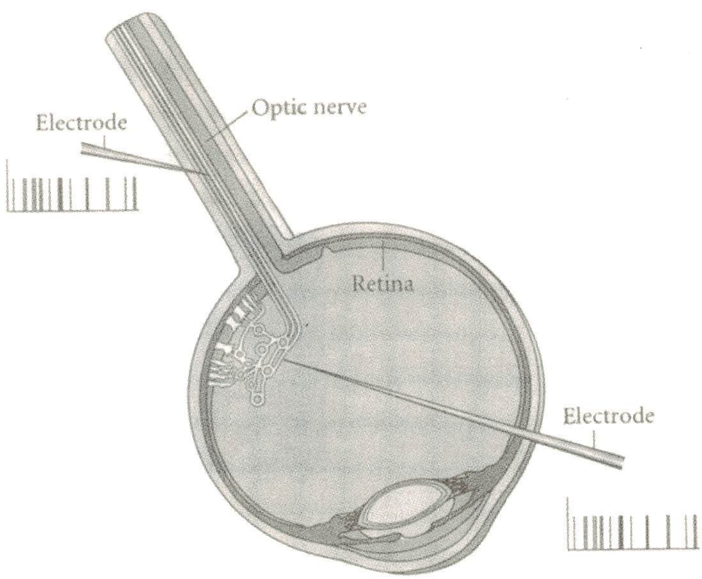
على عكس أجهزة التصوير الإلكترونى، لا يهمل الدماغ البقعة السوداء ببساطة؛ تظهر خواص فى هذا الموضع باستخدام عملية نشطة أو أكثر مثل الإكمال (كما فى الشكل ٢-٥)، والاستيفاء (كما ذكرنا فى الصفحة السابقة)، والتعويض (القسم ٢-١). تعوض خلايا اللحاء على أساس الفرضية المعقولة عادة بأن الخصائص البصرية لرقعة من العالم مماثلة للمواضع المجاورة (فيما يتعلق باللون والحركة واتجاه الحافات، إلخ). وطبقًا لهذا، إذا وضعتَ قلمًا رصاصا عبر البقعة العمياء، فسترى قلما رصاصا واحدا مكتملا دون ثقب فى وسطه. تشير الخلايا العصبية فوق البقعة العمياء وتحتها إلى الحافة الرأسية؛ وهكذا تفترض الخلايا العصبية المسئولة عن التمثيل البصرى للبقعة العمياء أن الحافة موجودة أيضًا فى البقعة العمياء. [١١]

قام عالم النفس فيليانور راماشندرن Ramachandran فى جامعة كاليفورنيا فى سان ديجو بعدة تجارب رائعة لدراسة التعويض. كما فى تجربة النقرة التى وُصفتْ للتو، وضع حلقة صفراء على البقعة العمياء بحيث يسقط المركز بشكل كامل - الخالى من الأصفر - على البقعة العمياء. أدرك الملاحِظون قرصًا أصفر سليمًا وكاملا، حتى رغم رؤيتهم الحلقة بوضوح عند النظر قليلا إلى ناحية. يذهب الدماغ أبعد من المعلومات المعطاة فى الشبكية بتخمين "بارع" لما قد يكون فى البقعة العمياء. حيث لا توجد خلايا عصبية فى الشبكية تستجيب لأنماط الضوء الساقط على البقعة العمياء، لا تكون هناك ارتباطات عصبية للوعى فى الشبكية. ولولا ذلك لرأيتَ ثقبين عند التطلع إلى العالم. [١٢]

٣ - ٤ مجال الاستقبال: مفهوم أساسى للرؤية

النشاط الشوكى الكامل أو المنعدم للخلايا العقدية، القناة الوحيدة للمعلومات التى تغادر الشبكية، من السهل نسبيا اكتشافه بأقطاب مجهرية (الشكل ٣-٢). بريادة ستيفن كوفلر Kuffler، حين كان يعمل فى جامعة جونز هوبكنز فى بلتيمور، أدت هذه التجارب إلى تحسين مفهوم **مجال الاستقبال**، الذى قدمه

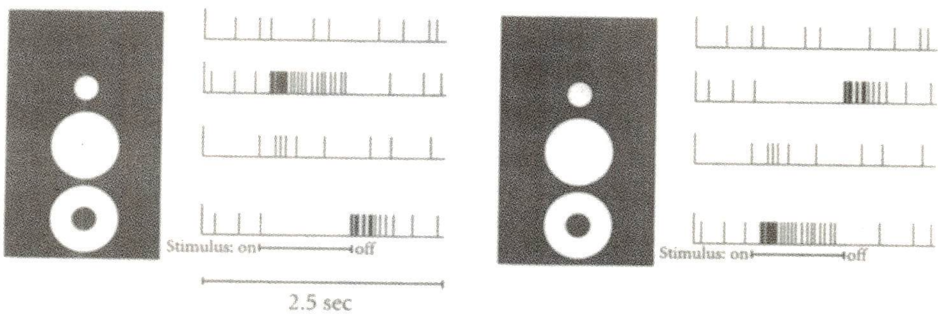
كيفر هرتلاين Hartline فى جامعة روكفيلر Rockefeller أثناء أبحاثه فى الجهاز البصرى فى سرطان الحدوة، **ليمولوس**. (١٣) إجرائيًا، يُعرَّف مجال استقبال خلية عصبية بأنه منطقة فى المجال البصرى يعدِّل فيها محفز مناسب، وهو هنا بقعة من الضوء، استجابة الخلية (Ratliff and Hartline, 1959 ؛Kuffler, 1952).



الشكل ٣-٢ تسجيل نشاط الخلايا العقدية: يمكن التقاط جهود الفعل من خلايا عقدية بوضع قطب مجهرى قرب أجسامها فى الشبكية أو فى العصب البصرى خارج العين. معدل عن Enroth-Cugell and Robson, 1984

كثيرا ما يوصل علماء الكهروفسيولوجيا نتاجًا مكبَّرًا من أقطابهم بمكبر صوت ليحددوا بشكل أسهل موضع مجال استقبال خلية عصبية بالاستماع إلى تفريغها. فى غياب أى محفِّز، تولِّد خلايا كثيرة تلقائيا شوكة أو بضع شوكات فى الثانية. وإذا وُضِعتْ بقعةٌ صغيرة من الضوء فى مجال استقبال الخلية ينفجر

مكبر الصوت بقرقعة تشبه صوت بندقية آلية تنطلق بعيدا. وهذا الصوت هو السمة المميزة **لخلية فى المركز** (الشكل ٣-٤، اليسار). حين تُنقَل بقعة الضوء قليلا خارج مركز مجال الاستقبال، يكون تأثيرها قمعيا. ويصح هذا مع محفز ضوئى أينما كان فى منطقة صغيرة تحيط بالمنطقة المركزية. إبعاد الضوء عن هذا **المحيط** الكابح، بإطفائه، يدفع الخلية للتوقف عن الاستجابة. وهكذا، تقدم بقعة من الضوء تحيط بها حلقة من الظلام أقوى استجابة لخلية فى المركز.



الشكل ٣ـ٤ **الخلايا فى المركز والبعيدة عن المركز:** تأجج استجابة خلية عقدية فى المركز (اليسار) وخلية بعيدة عن المركز (اليمين) فى شبكية القطة فى الظلام (الصف العلوى)، لبقعة صغيرة من الضوء تغطى مجال الاستقبال (الصف الثانى)، وبقعة من الضوء أكبر بكثير (الصف الثالث) وحلقة (الصف السفلى). تستجيب الخلايا العصبية بأفضل شكل لرقع دائرية من النور أو الظلام. معدل عن (Hubel, 1988).

تُظهِر **الخلايا البعيدة عن المركز** التنظيم المركزى نفسه **المحيط بالمركز**، لكن بعلامة معكوسة (الشكل ٣ـ٤، اليمين)؛ أى أن منطقة مركزية من الظلام تحيط بها حلقة من الضوء تستثير الخلية العصبية إلى أقصى حد.

لمجال استقبال معظم الخلايا العقدية فى الشبكية بنية مكانية متضادة، مع استجابات من الرقعة المركزية مضادة للاستجابات من المنطقة الطرفية. ويمكن توضيح ذلك بأفضل شكل ببقعة كبيرة من الضوء تغطى المركز والمحيط؛ عادة، لن تستجيب الخلايا إلا بشكل ضعيف (الشكل ٣ـ٤). [١٤]

كما أكدنا فى القسم ٢ـ١، يشكل مفهوم مجال استقبال خلية عصبية حجر الزاوية لعلم أعصاب الإدراك ولا يقتصر على تخطيطه المكانى (أى تنظيمه المحيط بالمركز). يشمل طول موجة الضوء الذى تستجيب له الخلية بأقصى قدر من الحساسية، والاتجاه الذى تفضله الخلية العصبية لحركة المحفز، إلخ. وامتد هذا المفهوم إلى الحواس الأخرى أيضًا. على سبيل المثال، يشمل مجال استقبال خلية عصبية سمعية طبقة الصوت الذى تستجيب له بأفضل قدر من الحساسية وما إن كانت تستثار بالصوت الذى يصل إلى أُذن أو أخرى.

تكمن فرضيتان، لا يفصح عنهما عادة، تحت هذا المفهوم. فى المقام الأول الاعتقاد بأن تحليل الكائن بكل حواسه لمشهد معقد يمكن أن يتحطم متناثرًا إلى استجابة لخلايا عصبية فردية. هذا، بالطبع، تبسيط مفرط ومجموعات من خليتين أو أكثر تتأجج فى تناغم، يحتمل أن تشفر صفات محفز لا تُمثَّل على مستوى الخلايا العصبية الفردية.[١٥] إضافة إلى ذلك، يعتمد أى تحليل كمى لمجال الاستقبال على اختيار خاصية الاستجابة العصبية الحاسمة لبقية الدماغ. هل هى ببساطة عدد الشوكات أم أعلى معدل تفريغ، وهما مقياسان يستخدمان بشكل شائع ويفترضان معدل تشفير (القسم ٢ـ٣)، أم أن هناك شيئًا بشأن النمط الزمنى للشوكات، النمط الذى ينقل المعلومات؟ لأسباب تتعلق بالقوة الحيوية والتقاليد المنهجية، يحصى معظم علماء الأعصاب الشوكات فى فترة معينة.

أنا الآن فى وضع يسمح لى بتلخيص موجز لاستراتيجية بحث لاكتشاف الارتباطات العصبية للوعى، لربط كمى لخصائص مجال الاستقبال فى خلايا عصبية فردية بإدراك الشخص. إذا كانت بنية الإدراك الشعورى لا ترسم خريطة لخصائص مجال الاستقبال فى مجموعة خلايا موضع اهتمام، فمن غير المحتمل أن تكفى هذه الخلايا العصبية لذلك المُدْرَك الشعورى. فى وجود ارتباط بين

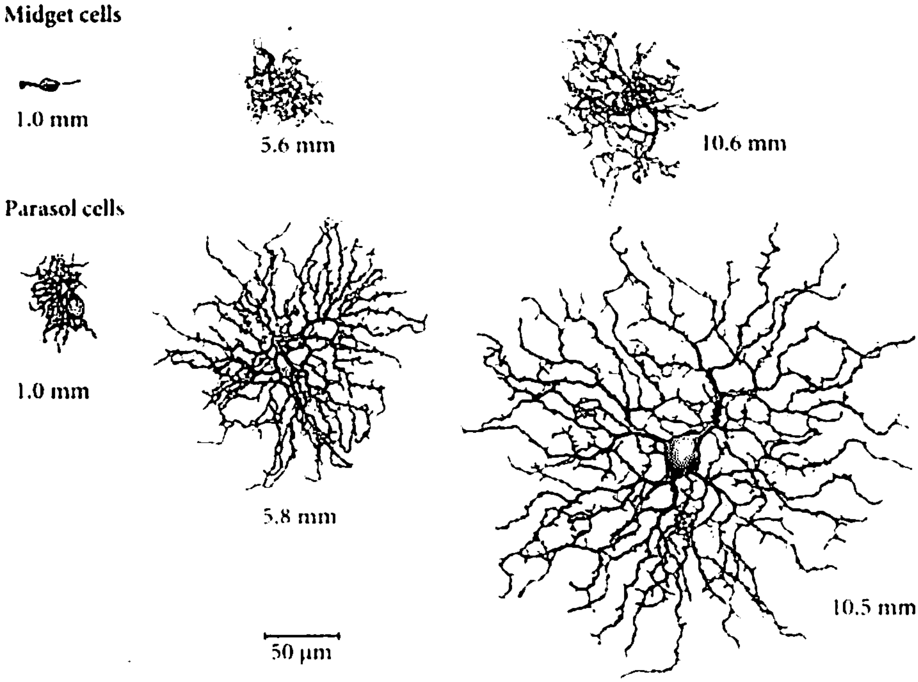
خبرة الإدراك وخصائص مجال الاستقبال، تكون الخطوة التالية تحديد إن كانت الخلايا ذاتها تكفى لذلك المدرك الشعورى أم ترتبط فقط بالإدراك بشكل طارئ. لإثبات العلية، يتطلب الأمر تجارب إضافية كثيرة لكشف العلاقة الدقيقة بين الخلايا العصبية والإدراك.

يكفى هنا مثال بسيط. بشكل يثير الدهشة إلى حد ما، لا يعرف الناس إن كانوا يرون صورة بالعين اليسرى أم بالعين اليمنى! إذا أُسقِط ضوء ضعيف من أمامك مباشرة فى أى من العينين، يمكن لملاحظ أن يخمن فقط أى عين حُفِّزَتْ (بافتراض منع الخداع والرمش وحركة الرأس). لا تشفر الخلايا العصبية المسئولة عن الوعى البصرى **العين** مصدر المعلومات صراحة.[١٦]

٣ ـ ٥ مخرج المسارات المتعددة المتوازية من العين

أعود إلى وجه من أوجه العين، مهمل بشكل أكبر، لكنه حاسم ـ محاور الخلايا العقدية. كان القديس الراعى لعلم الأعصاب، الأسبانى من سنتياجو ريمون كاجال،[١٧] فى نهاية القرن التاسع عشر، أول من صبغ الأنواع الأساسية للخلايا فى شبكية الفقاريات وتعرف عليها. تُقسَّم الخلايا العصبية عادة مثل طوابع البريد بأشكالها: أى بمظهرها وموضعها وأحجام أجسام خلاياها، وتفريعاتها الشجرية، ونهاياتها المحورية. اليوم، كثيرا ما تكتمل هذه المعلومات بتعريف العناصر التكوينية الجزيئية الفريدة، على سبيل المثال، وجود البروتينات الخاصة المرتبطة بالكالسيوم[١٨].

إلى حد بعيد معظم الخلايا العقدية خلايا عصبية قزمة (الشكل ٢-٥). فى النقرة، يقدم مخروط مفرد، عن طريق وسيط، المُدْخَل الوحيد لزوج من الخلايا القزمة للإضاءة والإطفاء. بينما تزيد خلية الإضاءة من معدل تأججها حين تُحفَّز ببقعة من الضوء، تفعل خلية الإطفاء العكس. وبدلا من ذلك تتأجج بشكل أكثر قوة حين يُطفَأ النور داخل المنطقة المركزية لمجال استقبالها. بافتراض وجود ارتباط أو اثنين بين المستقبلات الضوئية المخروطية الفردية والخلايا القزمة، فإنها تعمل بمثابة قناة للإشارة لتفاصيل رائعة للصورة.



الشكل ٣ـ٥ الخلايا العقدية فى الشبكية: تسود فئتان من الخلايا نتاج الشبكية إلى المهاد. عند مسافة معينة من النقرة، للخلايا القزمة midget تفريعات شجرية صغيرة مدمجة وهى أكثر شيوعا بكثير من الخلايا العصبية المظلية parasol، ولها تفريعات شجرية كبيرة. يزيد حجمها باستمرار مع الابتعاد عن النقرة (أى مع اللامركزية، مشارا إليه بالمليمتر عن النقرة). معدل عن Watanabe and Rodieck, 1989.

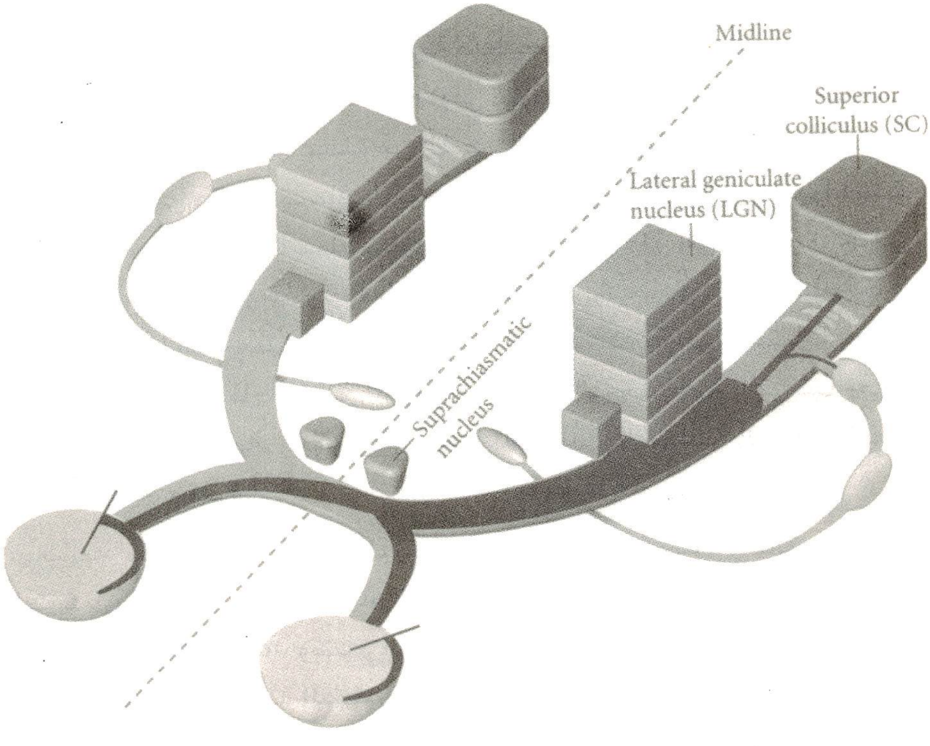
من كل عشر خلايا عقدية تقريبا توجد خلية مظلية. على أية مسافة ثابتة من النقرة، للخلايا المظلية تفريعات شجرية أكبر مما للخلايا القزمة (الشكل ٣-٥). تجمع الخلية العصبية المظلية المعلومات من مخروطيات كثيرة وتعبر عنها بزيادة (إضاءة) فى معدل التأجج أو نقص (إطفاء) فيه حين يضاء النور فى مركز مجال استقبالها. يزيد المدى المكانى لتفريعاتها الشجرية مع البعد عن مركز الشبكية، كما هو الحال بالنسبة لحجم مجال الاستقبال المرتبط بها.

النواة الرُّكْبية الجانبية: منتصف الطريق

بين الشبكية واللحاء

عند حقن جسم خلية بمتتبع كيميائى tracer، تنتقل المادة بطول الطريق إلى أطراف المحور، صابغة كل العملية المحورية فى الطريق، مما يسمح لعلماء تشريح الجهاز العصبى بتصور الأنماط الممتدة لمجموعة الخلية. بالعكس، فى الانتقال العكسى يرجع المتتبع بطول المحور باتجاه جسم الخلية.

يكشف تطبيق هذه التقنيات على الخلايا العقدية أن ٩ على الأقل من كل ١٠ تمتد إلى بنية مهادية مركزية، **النواة الركبية الجانبية** (LGN) الشكل ٢ـ ٦). وهى أشهر نواة من عدة نوى مهادية تعالج المعلومات البصرية.



الشكل ٣ ـ ٦ **ماذا يحدث لنتاج الشبكية؟** يمتد حوالى ٩٠٪ من ألياف العصب البصرى إلى **النواة الركبية الجانبية** (LGN) فى المهاد ومنها إلى اللحاء البصرى الأولي. يهيمن هذا المسار على الإدراك البصرى الشعورى. يمتد حوالى ١٠٠ ألف خلية عقدية إلى **الحدبة التوأمية العليا** (SC) على قمة خط المنتصف. وتتوسط هذه الخلايا السلوكيات الحركية البصرية التلقائية نسبيا. تمتد مجموعات فرعية أصغر إلى نوى ضئيلة تتورط فى المهام اليومية خارج حدود الوعى. هذا رسم تخطيطى. تقدم اللوحة C فى اللوحة الأمامية مقياسا مطلقا. معدل عن .Rodieck, 1998

تقع النواة الركبية الجانبية فى موقع استراتيجى بين الشبكية واللحاء. المعلومات الواردة إلى الشبكية تتحول إلى خلية ترحيل ركبية ترسل هذه البيانات إلى الأمام إلى اللحاء البصرى الأولي. مجال استقبال امتداد الخلية مماثل تقريبا لمجال استقبال اليافها الواردة، وهكذا يفترض عادة عدم حدوث تحولات مهمة فى المعلومات الواردة إلى الشبكية فى النواة الركبية الجانبية.

ومن غير المرجح أن تكون الفرضية صحيحة. الامتداد إلى الأمام من النواة الركبية الجانبية إلى اللحاء البصرى الأولي توازيه تغذية رجعية لحائية هائلة. فى القطط، الألياف الممتدة عائدة من اللحاء البصرى الأولي إلى النواة الركبية الجانبية حوالى عشرة أضعاف الألياف المتجهة إلى الأمام. تأمل كاميرا فيديو تتصل بكومبيوتر بكابل أسمك بكثير عائدا من الكمبيوتر إلى الكاميرا. حوالى نصف كل مشابك النواة الركبية الجانبية تنشأ فى اللحاء وتأتى مشابك أخرى كثيرة من امتدادات منتشرة فى جذع الدماغ. ماذا تفعل؟ من المحتمل أن يعزز اللحاء أو يقمع بشكل انتقائى المعلومات الواردة إلى الشبكية، التى تمر خلال النواة الركبية الجانبية. وتبقى وظيفة هذا المسار الهائل للتغذية الرجعية، المميز للنوى المهادية، محيرة.[١٩]

تشبه النواة الركبية الجانبية كعكة معوجة من ست طبقات. تحتوى الطبقتان السفليان على أجسام الخلايا الكبيرة، وتسمى الخلايا العصبية الكبيرة magnocellular، وتتميز الطبقات الأربع العليا بأجسام الخلايا الصغيرة وتسمى الخلايا العصبية **الصغيرة** parvocellular. يكشف الفحص الدقيق بنى فرعية أكثر بين هذه الطبقات: **خلايا عصبية مخروطية** koniocellula صغيرة شبيهة بالمخروط. البيئة البصرية مرسومة على شكل خريطة متصلة فى كل طبقات الركبية.

يهيمن المسار اللحائى الركبى على نتاج الشبكية

كل خلية عقدية قزمة فى الشبكية ترسل نتاجها إلى إحدى الطبقات الأربع صغيرة الخلايا فى النواة الركبية الجانبية. هناك، تمتد خلايا الترحيل إلى طبقة فرعية محددة بصرامة فى اللحاء البصرى الأولي، بشكل شفرى تسمى 4cB، سمكها جزء من ١مم (انظر الشكل ٤ـ١). كل مجموعة الخلايا العقدية القزمة

غير المركزية تماما، وأهدافها الركبية، ومستقبلاتها اللحائية تُعرف باسم **تيار الخلايا الصغيرة أو قناتها أو مسارها**. وبشكل مماثل، كل خلية عقدية مظلية تمتد إلى طبقة من طبقتى الخلايا الكبيرة أو إلى الطبقتين. الخلايا الركبية الموجودة هناك تزود بالأعصاب الطبقة 4ca والطبقة السادسة من اللحاء البصرى الأولي. إجمالا، يسمى هذا التآخى بين الخلايا مسار الخلايا الكبيرة. تنتهى الخلايا العصبية المخروطية فى منطقة محددة فى اللحاء البصرى الأولى.

فى علم الأحياء، ترتبط الوظيفة والبنية بقوة. وهكذا، يرتبط التشريح المميز للخلايا العقدية الشبكية، وأنماط انتهائها بشكل منفصل، بالاختلافات العميقة فى سلوكها ووظيفتها (الجدول ٣ـ١).

الجدول ٣ ـ ١ الرؤية الشعورية يتوسطها إلى حد بعيد مساران ينبعان من الشبكية ويصلان إلى اللحاء البصرى الأولى

الخاصية	الخلايا العصبية الصغيرة	الخلايا العصبية الكبيرة
معاداة الضوء	نعم	لا
حجم مجال الاستقبال	أصغر	أكبر
الاستجابة لحركة الضوء	مستمرة	مؤقتة
محفزات متحركة منخفضة التضاد	استجابة ضعيفة	استجابة قوية
رؤية حادة	نعم	لا
نسبة الخلايا العقدية	٧٠٪	١٠٪

تستجيب الخلايا العصبية الصغيرة باستمرار لإشعال الضوء أو تغيُّره - أى تبقى متأججة (وإن يكن بمعدل منخفض) ما دام نمط الضوء المحفز موجودًا، وتستجيب الخلايا العصبية الكبيرة مؤقتًا إلى حد كبير. عمومًا، تفضل الخلايا العصبية الكبيرة المحفزات سريعة التغيُر، كما يحدث أثناء الحركة، وتفضل الخلايا العصبية الصغيرة المعلومات الواردة باستمرار أو بطيئة التغير.

عدد الخلايا الصغيرة أكبر بكثير من عدد الخلايا الكبيرة. تمثل الخلايا الصغيرة العالم بدقة. وتهتم أيضًا باللون. ثمة ف ئة فرعية وهى **خلايا تضاد الأحمر والأخضر** red-green opponent cell وتستقبل المعلومات الواردة من مخروطيات الموجة الطويلة فى الجزء المركزى المثير من مجال استقبالها، وتضاد المعلومات الواردة من مخروطيات الموجة المتوسطة فى محيطها. الخلايا المكملة تدفعها بقعة مخضرة من الضوء موجهة لمركزها وتكبحها حلقة محمرة. وتناظر هذه المجموعات **قناة تضاد الأحمر والأخضر** red-green opponency channel، وقد استنبطت من المقاييس الحسية فى فترة مبكرة تعود إلى القرن الثامن عشر. الخلايا العصبية الكبيرة أقل حساسية بكثير لطول الموجة ولا تتسم بتضاد فى اللون يمكن الحديث عنه. تحمل إشارة مرتبطة بالشدة أو السطوع (بمساهمات من مخروطيات الموجة الطويلة والمتوسطة والقصيرة).

ثمة خاصية مذهلة فى هذه المسارات وهى استقلالها التشريحى، مما يمكِّن من القيام بتدمير انتقائى ومدروس لمسار أو آخر بحقن متكرر لسم كيميائى يدمر كل أجسام الخلايا فى الطبقات المناسبة فى النواة الركبية فى القرود. بعد إعاقة كاملة لأية قناة، يُدرَّب الحيوان على التعرف على اللون أو الأنماط التى تتطلب حدة منخفضة أو مرتفعة ليتصرف بشكل مناسب، بشكل مماثل للطريقة التى يختبر بها اختصاصى البصريات بصرك.

تؤثر إزالة طبقات الخلايا الصغيرة بعمق على اللون والرؤية المكانية الدقيقة جدا. يعانى القرد من مشكلة كبيرة فى تحديد التفاصيل الدقيقة والأنماط الباهتة ويفقد تماما القدرة على العثور على هدف على أساس اللون فقط. وتبقى حساسية الحيوان للأنماط سريعة التغير مع الزمن سليمة. تدمير مسار الخلايا

الكبيرة ليس له تأثير محسوس على حساسية القرد للتفاصيل الدقيقة، لكنه يحد من قدرته على تحديد التغيرات الزمنية السريعة.[٢٠]

ما دامت العينان مفتوحتين، تحمل هذه المسارات، بأكثر من مليون لْيفة، أكثر من ١٠ ملايين وحدة من المعلومات البصرية فى الثانية. هذا كثير. لكن، كما تعرف فى الفصل التاسع، ينبذ العقل الواعى معظم هذه البيانات المتدفقة.

ورغم سيادة الخلايا العصبية الكبيرة والصغيرة والمخروطية نتاج الشبكية، فإنها ليست الخلايا الوحيدة. بجانب امتداد كبير إلى الحدبة التوأمية العليا، وتناقش فيما يلى، توجد فئات كثيرة ثانوية من الخلايا العقدية تُرحِّل المعلومات البصرية إلى مجموعة متنوعة من خلايا صغيرة تتوسط الرَّمْش والتحديق والتحكم فى إنسان العين، والإيقاعات اليومية، ووظائف تنظيمية أخرى (الشكل ٣ـ ٦). وليس منها ما يحتوى على خريطة للعالَم البصرى. ولا يتم لها أن تلعب دورًا فى الرؤية الواعية.

٣ ـ ٦ الحدبة التوأمية العليا: دماغ بصرى آخر

يجرى حوالى ١٠٠ ألف محور خلية عقدية من الشبكية إلى **الحدبة التوأمية العليا** superior colliculus على قمة الدماغ المتوسط. والحدبة التوأمية العليا أهم مركز للعمليات البصرية فى الأسماك والبرمائيات والزواحف. فى الرئيسات، تم التغلب على معظم وظيفتها واستولى عليها اللحاء. ومع ذلك، تبقى الحدبة التوأمية العليا مهمة لاستجابات التوجيه وأيضًا حركات العين والرأس.

المرضى الذين فقدوا جزءا من اللحاء البصرى الأولى أو كله والمناطق اللحائية المجاورة مصابون بالعمى فى المجال البصرى المتأثر، رغم سلامة المسارات من الشبكية إلى الحدبة. [٢١] وهكذا يحتمل أن يكون نشاط الحدبة التوأمية العليا غير كافٍ للرؤية الواعية.

تتورط الحدبة التوأمية بحسم فى الحركات السريعة للعينين المعروفة باسم **ذبذبات العين**[٢٢] وتنهمك فيها الرئيسات باستمرار (ونتناول هذه الحركات بالمزيد فى الصفحات القليلة التالية). تميز الحدبة التوأمية العليا الاختلاف بين الموضع

الذى تركز عليه العينان هنا والآن والموضع الذى ستذهبان إليه بعد ذلك. تُرحَّل المعلومات مباشرة إلى المناطق الحركية البصرية المتحكمة فى حركات العين وإلى النوى المسندية pulvinar فى المهاد.

يمكن تقسيم الحدبة التوأمية العليا تقليديا إلى طبقات سطحية ومتوسطة وعميقة. تستقبل الطبقة العليا المعلومات مباشرة من الخلايا العقدية فى الشبكية بطريقة طبوجرافية. وترتبط الخلايا العصبية فى الطبقات الأكثر عمقًا بالسلوك بحقن مباشر للتيار الكهربى. إذا كانت السعة قوية بما يكفى، تنطلق ذبذبة من العين saccade.

٣ ـ ٧ حركات العينين: الذبذبات البصرية

فى كل مكان

العينان وأنماط حركاتهما المتميزة مصدر رائع للمعلومات ـ ليس للشعراء فقط، بل للعلماء أيضًا. ست عضلات فى العين مسئولة عن دوران مقلة العين بعدة أنماط متميزة.

ذبذبة العين حركة سريعة فى العينين معا. قلل التطور، إلى أقصى حد، الفترة التى تستغرقها العينان فى الانتقال إلى أقل من عُشْر ثانية. يسعى الدماغ للوصول إلى بقعة معينة؛ بمجرد انطلاق مقلة العين، لا يُبذَل أى تحكم بصرى حتى تعود العين إلى الراحة مرة أخرى. حين تكون حركة العين بعيدة عن الهدف، تجلب ذبذبة للتصحيح بسعة صغيرة الهدف بشكل صحيح إلى النقرة.

تُحرِك عينيكَ طوال الوقت. تقرأ بالوثب بسلسلة من الذبذبات الصغيرة عبر النص. تتطلع إلى وجه بالتحديق باستمرار فى عينيه وفمه وأذنيه، إلخ. فى ذبذبتين فى الثانية، تتحرك عيناك أكثر من ١٠٠ ألف مرة فى اليوم، عدد نبضات قلبك تقريبا. لكن، لا تدخل حركة من هذه الحركات التى لا تكل مجال الوعى (يُدعَم هذا الادعاء فى القسم ١٢ـ١).

الفترات بين ذبذبات العين وجيزة، من ١٢٠-١٣٠ ملى ثانية. وتناظر أقل وقت مطلوب لمعالجة المعلومات البصرية أثناء فترات تركيز العين.

يبدو تنقل العينين بسرعة عفويا، لكنه يتطلب توافقًا دقيقًا بين فريق كبير من اللاعبين ينتشرون فى كل أرجاء الدماغ. يتوسط مساران متوازيان، متعادلان فى ضربات جسورة، ذبذبات العين. توليد الحركات الانعكاسية الموجهة فى العينين (مثلما حين يظهر شىء ما على جانب) وظيفة الحدبة التوأمية العليا. الذبذبات الإرادية المخططة مسئولية المناطق اللحائية الجدارية الخلفية ومقدم الفص الجبهى. إذا أُتلِف جهاز، يقوم الآخر بتعويض محدود.(٢٣)

حين تقتفى هدفًا، وليكن طائرا فى سرب، تتحرك عيناك فى نمط يعرف باسم الملاحقة السلسة smooth pursuit.

تشحب الرؤية مع ثبات الصورة

إذا مُنِعتْ حركات العينين (على سبيل المثال، بتثبيت صورة بشكل غير طبيعى فى الموضع ذاته من الشبكية)، تشحب الرؤية بسرعة. إذا وُضِعْتَ دائما فى خبرة تصوير دماغ فى وظيفة بصرية، تُعطَى تعليمات بإبقاء عينيك ثابتتين قدر المستطاع لتقليل تأثيرات الحركة إلى أقصى حد، تأثيرات تسبب انخفاضا فى سعة نسبة الإشارة إلى الصخب. تتمدد فى مغناطيس وتحدق متعمِّدًا فى علامة ثابتة. يمكن أن يؤدى هذا إلى شحوب تدريجى فى المجال البصرى كله ـ نوع من فقدان الوعى ـ وهو ما يمكن إبطاله بالرَّمْش.(٢٤)

وكثيرا ما يفترض أن ذلك الشحوب ظاهرة شبكية خالصة، نتيجة عملية مؤقتة شبه اشتقاقية تنفذها خلايا الشبكية. تتبع شعار: إذا لم يتغير شىء، فلا تبالِ بتسجيل شىء. وقد يمثل هذا المبدأ القصة كلها؛ لأن التجارب التى أجريت فى أواخر خمسينيات القرن العشرين أظهرت أن شحوب رسوم خطية يعتمد على مجموعة متنوعة من الخصائص الشكلية العامة لا يُعبَّر عنها فى الشبكية.

لسوء الحظ، لا يعرف إلا القليل عن الأساس العصبى للشحوب. ينبغى أن تعكس استثارة الخلايا العصبية التى تعبر عن الوعى البصرى النشاط المرتبط بالأمر فى الارتباطات العصبية للوعى.

قمع الحركات السريعة،

أو لماذا لا يمكن أن ترى حركات عينيك؟

ما تأثيرات حركات العين على بقية الجهاز؟ حين تلعب للمرة الأولى بكاميرا فيديو، تكتشف بسرعة أن تصوير طفلتك بتتبعها وهى تتمشى فى المنزل قد يؤدى إلى غثيان عند رؤية النتيجة. تؤدى حركات الكاميرا وتحولاتها المفاجئة إلى إحساس غير مريح بالحركة الناجمة. لماذا، إذن، لا تشعر بهذا كلما حركْتَ عينيك؟ بشكل ذاتى، يبدو العالم الخارجى ثابتًا بشكل لافت. كيف يتأتى ذلك؟[٢٥]

ثمة تأثير آخر متوقع لسرعة حركات العين وهو تشوش الصورة، كما يحدث، على سبيل المثال، وأنت تحاول التقاط سيارة تتحرك فى صورة فوتوغرافية بإبطاء سرعة المصراع. أثناء ٣٠-٧٠ ملى ثانية التى تحدث خلالها الحركة السريعة، يُلطَّخ مجال الإبصار بشكل مروع، لكنه يبدو شديد الوضوح. ماذا يحدث؟

ثبات العالم البصرى وشدة وضوحه أثناء حركات العين ناتج عن عمليات كثيرة، تشمل **قمع ذبذبات العين** saccadic suppression، وهى آلية تتعارض مع الرؤية أثناء حركات العين. يمكن أن تجرب قمع ذبذبات العين بالتطلع فى مرآة، تثبت أولا عينك اليسرى ثم عينك اليمنى، مرارا وتكرارا. لن ترى أبدًا عينيك تتنقلان. لا تتحرك عيناك بسرعة كبيرة جدا؛ لأنك ترى بوضوح ذبذبات عين صديق. وعينك تتنقل، تُغلَق الرؤية جزئيًا. وهذا يستبعد عدم الوضوح والشعور بأن العالم يهتز فى كل كسر من الثانية.[٢٦]

لماذا، إذن، لا تتميز الرؤية اليومية بفترات خواء مزعج؟ لابد أنها تُمنَع بآلية **تكامل عبر ذبذبات العين** trans-saccadic تعوض هذه الفترات بشريط صور "زائفة". يشكل صورة قبل الحركة السريعة وبعدها. تبقى آليات هذا التكامل ومواضعه العصبية مجهولة عمومًا.[٢٧]

الرَّمْش

تنظف العين نفسها برَمْش الجفنين وترطيب واجهة القرنية بسوائل من الغدد

الدمعية. عادة، ترمش بضع مرات وأنت تقرأ هذه الفقرة. تعوق كل رمشة إنسان العين فترة وجيزة، مسببة فقدًا كاملا تقريبًا لعُشْر ثانية تقريبًا. لكن رغم حساسيتك الشديدة لرجفة قصيرة فى إضاءة الغرفة، تغفل بشكل تام تقريبا عن الرمش.(٢٨)

وطبقا لهذا، أتوقع ألا تبالى الارتباطات العصبية للوعى بالرمش. أى أنه بينما على خلايا الشبكية أن تتوقف عن التأجج أثناء رمشة، تبقى خلايا الارتباطات العصبية للوعى نشطة أثناء هذا الغلق المؤقت للرؤية.

إضافة كل هذه القصاصات الصغيرة من فيلم متحرك يشكل الحياة اليومية التى "تُفقَد" نتيجة قمع الذبذبات وقمع الرمش يساوى ذهولا من ٦٠ ـ ٩٠ دقيقة يوميا! ساعة أو أكثر ينبغى أثناءها تسوية النظر، لكن ذلك لا يحدث. وقبل أن يبدأ العلماء دراسة هذا الموضوع فى القرن التاسع عشر، لم يكن أحد يعيه.

٣ ـ ٨ الملخص

الشبكية نسيج مذهل من مشغلات عصبية مؤلفة من صفائح كثيرة، أرفع من بطاقة ائتمان، بها أكثر من خمسين نوعا من الخلايا المتخصصة. تشكل محاورُ الخلايا العقدية العصبَ البصرى الذى يخرج من العين. وتشبه أسلاكا تنقل رسائل مشفرة فى سلسلة زمنية من النبضات الكهربية، منظمة بطول عدة قنوات متوازية. يمكن وضع تماثل هش مع مجموعة من عشرات الكاميرات، واحدة تنقل معلومات بالأبيض والأسود، وواحدة أحمر وأخضر، وأخرى تنقل معلومات متضاربة بالأزرق والأصفر، وقناة تؤكد مواضع تتغير شدتها فى الزمن، إلخ.

وأفضل ما دُرِس منها مسارات الخلايا الكبيرة والصغيرة والمخروطية التى تمتد، عن طريق النواة الركبية الجانبية، إلى اللحاء البصرى الجانبى. تشير الخلايا العصبية الكبيرة إلى السطوع والتغير الزمنى، كما يحدث أثناء الحركة، وتنقل الخلايا العصبية الصغيرة المعلومات الحمراء الخضراء والتفاصيل المكانية الدقيقة. ويهتم مسار الخلايا المخروطية بتضاد الأزرق والأصفر وخصائص الصور المفهومة بشكل أقل. وكل هذا يدعم الخبرة البصرية الواعية.

يمتد المسار الثانى من حيث الحجم مغادرا العين إلى الحدبة التوأمية العليا ويتورط فى الأشكال التلقائية من ذبذبات العين. يُكرِّس قدر كبير من المعدات الإضافية لصالح ذبذبات العين وحركات أخرى سريعة ودقيقة ومتكيفة للعين. تمتد مجموعات صغيرة من الخلايا العقدية إلى أماكن غريبة فى جذع الدماغ. وتنظم التحديق وقطر إنسان العين، ووظائف يومية أخرى مهمة. ويحتمل تعذر وصول معظم هذه المعلومات للوعى.

لا ترى بالعين بل بالدماغ. تشمل التباينات بين ما تشفره الخلايا العقدية وما تدركه بوعى النقص الدرامى فى حدة الرؤية المكانية بعيدا عن النقرة، وجود نوعين من المستقبلات الضوئية فى نقطة الرؤية الأكثر حدة، وندرة التمثيل الضوئى فى الأطراف، والبقعة العمياء، وعدم وضوح الصورة أثناء حركة العين، والفقد المؤقت للمعلومات البصرية الواردة أثناء الرمش.

تقرأ البنى العصبية فى المهاد واللحاء إشارات العصب البصرى وتولّد مشهدًا ثابتا ومتجانسا واضطراريا للعالَم. بينما العين ضرورية للأشكال العادية من الرؤية، من المؤكد أكثر أن الارتباطات العصبية للوعى ليست موجودة فى الشبكية. ولنذهب الآن إلى اللحاء البصرى.

الهوامش:

(١) الرب الطيب فى التفاصيل Le bon Dieu est dans le detail ، بالفرنسية فى الأصل. جوستاف فلوبير Flaubert (١٨٢١ ـ ١٨٨٠): الكاتب الفرنسى الشهير (المترجم).

(٢) الفوتون photon: جُسَيم يمثل كمية من الضوء أو إشعاعًا كهرو مغناطيسيًا آخر. وحدة إضاءة الشبكية، ويساوى كمية الضوء التى تصل إلى الشبكية خلال ١ مم٢ من منطقة إنسان العين من سطح مضاء بشمعة فى المتر المربع (المترجم).

(٣) خلايا الأماكرين amacrine: خلايا عصبية فى الشبكية، مسئولة عن ٧٠٪ من المعلومات الواردة إلى الخلايا العقدية فى الشبكية، وتنظم الخلايا ذات القطبين bipolar المسئولة عن ٣٠٪ الأخرى (المترجم).

(٤) تحتوى شبكية الثدييات على أكثر من ٥٠ نوعا متميزا من الخلايا، لكل منها وظيفة مختلفة (Masland, 2001 ;MacNeil and Masland, 1998 ; DeVries and Baylor,1997; Daceyet al., 2003). أعود إلى موضوع أنواع الخلايا فى القسم ٤ ـ ٣.

(٥) لتفسير العمليات الفيزيائية الحيوية والحسابية فى الشبكية، انظر Dowling, 1987; Wandell, 1995، والكتاب الدراسى المزود بصور توضيحية جميلة، Rodieck, ١٩٩٨.

(٦) الجزء المركزى من النقرة، حوالى درجة واحدة من الزاوية البصرية فى الحجم ـ عرض إبهامك فى طول الذراع حوالى درجة ونصف إلى درجتين ـ متخصصة فى أن الرؤية فيها أفضل ما يمكن.

(٧) تعبر شبكيات بعض النساء عن شكلين من الصبغة الضوئية طويلة الموجة تختلف ٤ ـ ٧ نانو متر (واحد على مليار من المتر ـ المترجم) فى جزء من الموجة الطويلة من موجات الطيف (Nathans, 1999). يمكن للاختبارات الجسدية النفسية الحساسة تقييم إدراك اللون فى هؤلاء النساء "الاستثنائيات"

Jameson, Highnote and Jordan and Mollon, 1993) ;Wasserman, 2001).

إذا تعلم اللحاء البصرى معالجة المعلومات الإضافية لطول الموجة بشكل متميز، تتعرف هؤلاء النساء رباعيات اللون على التغيرات الدقيقة فى تدرج اللون غير المتاحة دائما

لبقية البشر. بشكل خاص، ينبغى أن يكنَّ قادرات على تمييز لونين يبدوان متشابهين لثلاثى اللون.

(٨) توصف التجارب الجسدية النفسية الأصلية فى , Williams, MacLeod and Hayhoe 1981 ؛ Williams, et al., 1991. يصور Curcio et al., 1991 مباشرة توزيع المخروطيات قصيرة الموجة فى شبكية الإنسان.

(٩) يكشف تحليل شبكيات الإنسان (Roorda and Williams,1999) رقعًا على امتداد عُشْر درجة تحتوى مخروطيات طويلة الموجة أو قصيرة الموجة فقط، مما يحد من قدرة البشر على إدراك الاختلافات الدقيقة فى اللون.

(١٠) توجد البقعة العمياء عند ١٥ درجة بطول المسار الأفقى على الجانب الأنفى من الشبكية. تجدها بغلق العين اليسرى (لن ترى والعينان مغلقتان) والتركيز على طرف إبهامك الأيسر بالعين اليمنى المفتوحة. حرك ببطء سبابة اليد اليمنى، مفرودة على بعد ذراع، من الخارج باتجاه الإبهام، وعينك ملتصقة بالإبهام الثابت. تكتشف اختفاء طرف السبابة فى نقطة معينة (والمسافة بين الإصبعين ١٥ سم، ٢٥ سم). وحين يكون الإصبع أبعد، يمكن أن تراه. اكتشفتَ فقط أنك لا ترى شيئًا فى رقعة قطرها حوالى ٥ درجات. من اللافت بما يكفى أن هذه الملاحظة البسيطة، المعروفة لمعظم أطفال المدارس اليوم، لم تُعرَف إلا فى النصف الثانى من القرن السابع عشر بواسطة l'Abbé Edme Mariotte فى فرنسا. استنتج وجود البقعة العمياء بفحص تشريحى دقيق للشبكية (يقدم Finger 1994، تعليقا تاريخيا). فشلت الحضارات الإغريقية والرومانية وحضارات أخرى، رغم إنجازاتها الثقافية والفنية والتنظيمية الكبيرة، فى تقدير هذه الحقيقة الأساسية للرؤية عند الإنسان.

(١١) سُجِّل نشاط خلايا عصبية فى اللحاء البصرى الأولى تمثل البقعة العمياء فى القرود. لهذه الخلايا مجالات استقبال مزدوجة الرؤية تمتد خارج البقعة العمياء وترشد بقية الدماغ عن وجود أسطح كبيرة تغطيها Komatsu and Murakami, Fiorani et la., 1992 1994. Komatsu, Kinoshita, and Murakami 2000 للاطلاع على تجارب فسيولوجية مرتبطة بالموضوع تختبر الاستيفاء باستخدام بقع عمياء اصطناعية، انظر Murakami, DeWeerd et al., 1995. Komatsu and Kinoshita, 1997 ؛

(١٢) قدم Kamitani and ؛Ramachandran, 1992 ؛Ramachandran and Gregory, 1991 Shimojo, 1999 بقعا عمياء اصطناعية بتحفيز مغناطيسى داخل الجمجمة. للاطلاع على خلاصة وافية عن التعويض، انظر (Pessoa and DeWeerd, 2003)؛ أكد Dennett, 1991 (انظر أيضًا Churchland and Ramachandran, 1993) بشكل صحيح على أن هذا لا يتضمن الإبقاء على بكسيل مقابل بكسيل من المعلومات المفقودة

على شاشة الشبكية. ترتكب الآليات العصبية النشيطة خدعة وجود معلومات حيث لا يوجد شيء مرئي.

(١٣) ليمولوس Limulus، أو سرطان الحدوة horseshoe crab: مفصليات بحرية تعيش في شرق أمريكا الشمالية. يعرف أيضًا بسرطان الملك (المترجم).

(١٤) بشكل منهجي، تشفر خلايا المركز والخلايا البعيدة عن المركز نصف الموجة الموجبة والسالبة معدلة التقابل الموضعي للصورة. إذا كان التقابل موجبا، تستجيب خلايا المركز وتسكن الخلايا البعيدة عن المركز؛ والعكس صحيح إذا كان التقابل سالبا.

(١٥) للاطلاع على الادعاءات المتصارعة عن كمية المعلومات الموجودة في شوكات الخلايا العقدية المترابطة في الشبكية انظر:

Warland, Reinagel and ؛ Meister, 1996 Nirenberg et al., 2001. Meister 1997.

(١٦) لا يتضمن هذا أن العين مصدر المعلومات لا تستغل في استريوسكوب بعدستين أو في توافق حركات العين. لا يحصل البشر عادة على هذه المعلومات بوعي (Kolb and Braun, 1995 ؛Ono and Barbeito, 1985 ؛von Helmholtz, 1962). انظر القسم ٦-٥.

(١٧) ريمون كاجال Rem_n y Cajal (1852-1934): عالم أنسجة أسباني، حصل على نوبل مشاركة في ١٩٠٦، وسنتياجو المشار إليها هنا مدينة شمال غرب أسبانيا (المترجم).

(١٨) للاطلاع على ترجمة لأشهر أعمال ريمون كاجال، وبها تعليقات وافية، انظر Remon y Cajal, 1991. قدم ستيفن بولياك دراسة حديثة عن شبكية الرئيسات Polyak, 1941 Kaplan, 1991. ؛Zrenner, 1983 ؛ للاطلاع على تلخيص رائع للمعلومات المتوافرة اليوم عن تشريح الشبكية وفسيولوجيا الشبكية، راجع Rodieck, 1998.

(١٩) للاطلاع على تشريح المسارات الأمامية ومسارات التغذية الرجعية، انظر Sherman and Koch, 1998؛ Sherman and Guillery, 2001، والقسم ٧-٢. يعتقد كثير من الباحثين أن التغذية الرجعية اللحائية الركبية، أو بشكل أكثر عمومية، التغذية الرجعية اللحائية إلى كل الخلايا المهادية، تساعد على التنبؤ بوجود محفزات. ويعرف هذا بالتشفير التنبؤي Rao and Ballard,1999 Mumford 1991,1994 Koch, 1987 بردّ Przybyszewski et 2000 اللحاء البصري الأولى في القطط، فأوقفه عن العمل، وأوضح أن هذا أثر في منحنى الاستجابة المقابلة البصرية للخلايا العصبية في الركبية.

(٢٠) في الجهاز حشو: يبقى الإحساس برؤية الحركة جزئيا بعد تدمير طبقات الخلايا الكبيرة؛ وبالمثل، يمكن أن يستفيد الإدراك العميق من أي جهاز Schiller and Merigan and Maunsell, 1993 Logothetis, 1990

(٢١) الدليل الإكلينيكى موثق فى Aldrich et Brindley, Gauiter-Smith and Lewin, 1969
Celesia et al., 1991 al., 1987

(٢٢) ذبذبات العين أو سكادات saccades: حركات سريعة للعين بشكل متقطع، كما يحدث عند تثبيت العينين على نقطة بعد أخرى فى مجال الرؤية (المترجم).

(٢٣) يلخص: Schiller and Chou, 1998 Corbetta, 1998 Schall, 1991 فسيولوجيا أعصاب حركات العين.

(٢٤) يمكن أن يستغرق الأمر أى وقت من جزء من الثانية إلى دقيقة أو أكثر لتشحب صورة (Tulunay-Keesey, 1982: Coppola and Purves 1996) يعتمد الشحوب على انتباه الشخص للصورة، وإن كان للصورة معنى، إلخ (Pritchard, Heron and Hebb,1960).

(٢٥) لا يبدو العالم ثابتا، كما يعرف مريض الأعصاب R.W. بشكل جيد (haarmeier et al., 1997). يدور عالمه فى الاتجاه المعاكس إذا اقتفى شيئا ما بعينيه أو رأسه. حدة بصره وقدرته على الحكم على الحركة طبيعيتان. دمر تلف على الجانبين فى اللحاء الجدارى القذالى تعويض الحركة.

(٢٦) تبقى كيفية حدوث هذا مسألة مثيرة لجدل مثير. تؤكد مدرسة على أن حركات العين تقمع بنشاط معالجة ذبذبات العين، ويؤكد المعسكر المقابل أن عوامل بصرية مثل التقنع الأمامى والخلفى يسبب القمع Burr, Morrone and Ross, 1994: Castet and Masson, 2000. ويحتمل أكثر أن عمليات متعددة تساهم فى الأمر. لاحظ أن الذبذبات لا تمنع الرؤية تماما. Bridgeman, Hendry and Stark, 1975. يمكن التأكد من إمكانية رؤية شىء ما أثناء الذبذبات بالتطلع إلى تقاطعات قضبان السكة الحديد من قطار يتحرك والقيام بحركة سريعة عكس اتجاه حركة عربة القطار. استغل الفنان بيل بل Bill Bell هذا فى مقطوعاته الفنية "Lightsticks". مرئية على خلفية سوداء، ترسم هذه القضبان العمودية من صمامات ينبعث منها ضوء مرتجف لصورة حيوان أو علم أو وجه على شبكية مشاهد يحرك عينيه بسرعة عبرها. حين يركز عليها مباشرة لا يرى إلا قضيبا مرتجفا بالضوء الأحمر.

(٢٧) McConkie and Currie, 1996.

(٢٨) Volkmann, Riggs and Morre, 1980 - ؛ Skoyles, 1997.

الفصل الرابع

اللحاء البصرى الأولى نموذجا أصليا لمنطقة لحائية جديدة

لا بد أن يعتبر هذا مبدأ عاما، إن المادة اللحائية... تهب الحياة،
أى الإحساس والإدراك والفهم والإرادة؛ وتهب الحركة،
أى القدرة على الفعل بالاتفاق مع الإرادة والطبيعة

عن إيمانويل سويدنبرج(١)

يمكن أن تبقى على قيد الحياة بلا لحاء، لكن فى حالة خمود فقط، بلا وعى. كان الموسوعى والمتصوف السويدى الذى كتب اقتباس تصدير الفصل سنة ١٧٤٠ من أوائل من أكدوا أهمية اللحاء للحياة الذهنية. اللحاء هو الركيزة الأساسية للإدراك والذاكرة والكلام والوعى.

يمكن تقسيم لحاء المخ cerebral cortex طبقا للنشوء إلى لحاء الشم القديم ولحاء قرن آمون، و**اللحاء الجديد** neocortex الأحدث. لا توجد البنى متعددة الطبقات التى تتوج الدماغ إلا فى الثدييات؛ اللحاء الجديد خاصية مميزة للثدييات بقدر ما تميزها الغدد الثديية. وبوضع أهمية اللحاء الجديد للإدراك الشعورى فى الاعتبار يتوجب علينا دراسة تشريحه ووظائفه بالتفصيل.

يلقى هذا الفصل الضوء على الخصائص العامة للحاء الجديد (أو اللحاء باختصار)، وأيضًا الخصائص المميزة المرتبطة باللحاء البصرى الأولي ـ غاية المعلومات الشبكية الركبية geniculate–retino. اللحاء البصرى الأولي أفضل

منطقة لحائية استكشفت عموما.[٢] أتناول المناطق اللحائية الأخرى فى الفصلين السابع والثامن.

٤ ـ ١ الرؤية عند القرود نموذجا للرؤية عند البشر

يجب تأسيس أية نظرية مقبولة عن الوعى على الخلايا العصبية. وتتطلب دراستها بالضرورة استخدام الأقطاب المجهرية، والأصباغ التشريحية، وأفعال اقتحامية غير رجعية غالبا. ومن ثم فأدمغة البشر خارج الحدود غالبا.

النوع المفضل لاستكشاف الأساس العصبى للإدراك هو القرد الآسيوى، وهو، باستثناء البشر، الأوسع انتشارا بين جنس الرئيسات (للاطلاع على تقسيم البشر والقرود، انظر الهامش ٤٢ فى الفصل الأول). وتشمل القرود الآسيوية قرد ريسوس rhesus، ومكاكا مولتا Macaca mulatta، والقرد الآسيوى آكل السرطان، مكاكا فسكيولارس Macaca Fasciularis. هذه الحيوانات، متطورة بشكل مستقل عن البشر فى آخر ٣٠ مليون سنة، ليست مهددة بالخطر، وتتكيف بشكل جيد مع الأسْر.

فى سياق التطور، تضاعفت كمية اللحاء مئات المرات من الرئيسات البسيطة (مثل الرئيسات السفلى)[٣] إلى البشر، لكن أنواع الخلايا اللحائية لم تتغير بشكل متناسب. إن الخلايا الهرمية المثيرة الكبيرة والصغيرة والخلايا النجمية الشوكية، وأيضًا السلة الكابحة، الخلايا النجمية غير الشوكية، والخلايا ذات الباقتين، وأعضاء أخر من حديقة متنوعة من الخلايا العصبية الكابحة، موجودة فى كل الثدييات.[٤]

الاستثناء الوحيد، إلى حد كبير، الخلايا العصبية المغزلية spindle، وهى فئة من الخلايا العملاقة لا توجد إلا فى منطقتين من المناطق اللحائية الجديدة فى الفص الجبهى. توجد بكثافة عالية فى البشر، وبشكل أقل بكثير فى القردة العليا وتغيب تماما فى القرود والقطط والقوارض. تشير بضعة تلميحات مثيرة باتجاه احتمال تورطها فى متابعة الذات والوعى الذاتى.[٥]

القرود فضولية بالطبيعة ويمكن تدريبها لشهور للقيام بسلوكيات حركية بصرية معقدة تمامًا. حين يقارن أداؤها فى مهام بصرية متعددة بطريقة مناسبة

مع البشر، تفوق أوجه التماثل أوجه الاختلاف. التجارب الكثيرة المسجلة فى هذا الكتاب ميثاق لحقيقة أن القرود تشترك مع البشر فى إدراك الحركة والعمق والشكل واللون، وتستجيب للأوهام البصرية التى يستجيب لها البشر. مثل البشر، للقرود الآسيوية عيون تتجه إلى الأمام، وثلاث فئات من المستقبلات الضوئية المخروطية، وتأكيد على النقرة مقارنة بالأطراف البصرية، والأنواع ذاتها من حركات العين ومناطق لحائية مماثلة تسهل الرؤية. والمرء ينتقل من سلوكيات بسيطة إلى سلوكيات أكثر تعقيداً، تظهر لا محالة اختلافات بين الأنواع. ويهتم هذا الكتاب أساساً بالإدراك الحسى الواعى، ولا يهتم بالذات أو التبرير المجرد أو اللغة. وفى ذلك المستوى، يحتمل أكثر أن تكون الفروق بين رؤية القرود والبشر كمية لا نوعية.[٦]

٤ ـ ٢ اللحاء الجديد بنية من طبقات تشبه اللوح

يحتل اللحاء الجديد وارتباطاته حوالى ٨٠٪ من حجم الدماغ فى الإنسان. اللحاء الجديد، مختلفاً عن أى بنى أخرى فى الدماغ من قبيل المهاد أو العقد القاعدية أو جذع الدماغ، لوح تزيد مساحته كثيراً عن سمكه. وهو ملتف جدا وله بنية ثانوية مؤلفة من صفائح (انظر الصورة الخلفية). تختلف مساحة اللوح اللحائى عبر الأنواع، ويتراوح من حوالى ١ سم^{٢} فى الشريو،[٧] إلى ١٠٠ سم٢ فى القرد الآسيوى، ١٠٠٠سم٢ فى الإنسان، وأضعاف هذه المساحة عدة مرات فى بعض التماسيح. إن لحاء مخك يشبه كعكتين بسمك ٢ـ٣ مم وقطر ٣٥ سم، مكومتين ومحشورتين فى جمجمتك.

الكثافة العامة للخلايا العصبية ثابتة نسبيا بصرف النظر عن المنطقة (باستثناء وحيد وهو اللحاء البصرى الأولي)، حوالى ١٠٠ ألف خلية تحت ١مم^{٢} من اللحاء.[٨]

تُقسَّم المادة السنجابية gray للوح اللحاء الجديد، وتتكون من كتلة أجسام الخلايا العصبية والتفرعات الشجرية والمشابك وخلايا الدعم، إلى طبقات على أساس كثافة أجسام الخلايا والألياف وأنواعها (كما يبدو فى صورة الخلفية). تقليديا، عُرِفتْ ست طبقات فى اللحاء الجديد، ووُضِعت أقسام فرعية أكثر دقة.

يمكن وصف الخلايا العصبية بوضعها الصفائحى laminar. الطبقة التى يوجد فيها جسم خلية مؤشر للدور العام للخلية العصبية فى معمار اللحاء. نتناول هذه القواعد التشريحية، ونلمح لها فيما يلى، بإسهاب فى الفصل السابع.

تتميز الطبقة العليا، الأولى، مباشرة تحت الأغشية التى تطوق الدماغ، بندرة أجسام الخلايا (الشكل ٤-١). وهذه الطبقة منطقة استقبال لمسارات التغذية الرجعية من المناطق اللحائية الأخرى ولبعض المعلومات المهادية الواردة غير المميزة. تقدم أكبر سياق للخلايا العصبية التى تقع تحتها. الطبقتان التاليتان، الثانية والثالثة، جزء من **الطبقات السطحية أو العليا**، على العكس، مأهولتان بالخلايا العصبية بكثافة. الامتدادات اللحائية - اللحائية الأمامية، التى تبقى داخل اللحاء، تنشأ، كمبدأ عام، فى الطبقات السطحية. الطبقة الرابعة هى الأغنى بأجسام الخلايا - فى حالة اللحاء البصرى الأولي، خلايا عصبية صغيرة غير هرمية تسمى **الخلايا النجمية الشوكية** spiny stellate. وتُقسَّم غالبًا إلى طبقات فرعية وهى منطقة المعلومات الواردة للحاء؛ وكما شرحنا فى الفصل الثالث، تنتهى معظم المعلومات الركبية الواردة فى صفيحتين متميزتين فى الطبقة الرابعة. طبقتا القاع، الخامسة والسادسة، **الطبقتان العميقتان أو السفليان**، موطن الكثير من الخلايا الهرمية الطويلة. إذا تطلب الأمر نقل معلومات من اللحاء البصرى الأولي إلى الحدبة التوأمية العليا، على سبيل المثال، فيجب إرسالها إلى خلية عصبية هرمية فى الطبقة الخامسة، وبالمثل نتاج اللحاء الحركى. المادة البيضاء فى الدماغ، مكونة بالكامل من الحزم المحورية وأغطيتها الدهنية (التى تضمن انتقالا سريعا للنبضات)، تبدأ تحت الطبقة السادسة بالضبط.

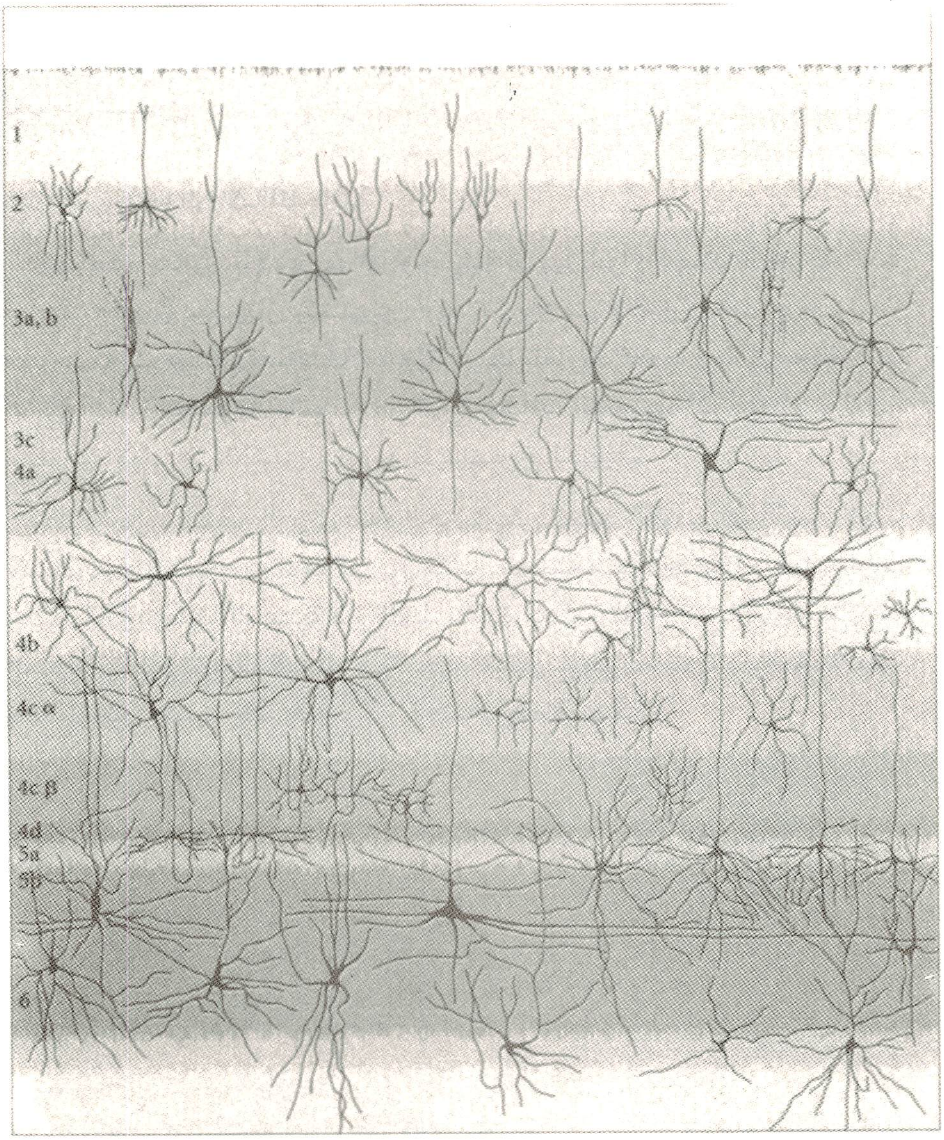
عمومًا، اللحاء متجانس بشكل لافت. يفترض هذا الرأى العام أو "الموحد" أن معظم الاختلافات بين اللحاء البصرى والسمعى، على سبيل المثال، تنشأ نتيجة الطبيعة المميزة للمُدْخَل - تدفق الصور مقابل الأصوات. وهذا ليس إنكارا لتخصصات المناطق. الطبقة الرابعة فى اللحاء الحركى، على سبيل المثال، متطورة بشكل سيئ، والطبقة الرابعة فى اللحاء البصرى الأولى سميكة بشكل خاص. إنها تخصصات ذات مغزى؛ لأن الوظيفة الرئيسية للحاء الحركى ضبط

العضلات (وظيفة نتاج)، بينما يتطلب اللحاء البصرى الأولى وضوحا شديدا للمُدْخَل البصرى.

٤ ـ ٣ كثرة أنواع الخلايا اللحائية

تستخدم معايير شكلية ودوائية وجزيئية لتمييز أنواع الخلايا العصبية. حتى لو بدت خليتان عصبيتان متشابهتين، ربما تكونان فى طبقتين مختلفتين وترسلان محوريهما إلى مناطق مستهدفة متميزة، وربما تنقل شوكاتهما رسائل مختلفة. فى الشكل ٤ ـ ١ مجموعة متنوعة من أنواع الخلايا العصبية الموجودة فى اللحاء البصرى الأولي فى الإنسان والقرود فى الصورة الخلفية.

على أساس التأثير الفورى لهذه الخلايا على الجهد الكهربى فى غشاء الخلية المستهدفة، تُقسَّم هذه الخلايا إلى خلايا عصبية مثيرة وكابحة. حوالى أربعة أخماس كل الخلايا العصبية فى اللحاء مثيرة. يسبب النتاج المشبكى من مثل هذه الخلية ارتفاعا موجبًا قصيرًا فى الجهد الكهربى فى غشاء الخلية المستهدفة، باتجاه العتبة لتوليد جهد فعل، يعزز احتمال إطلاق شوكة.



الشكل ٤ـ١ **أنواع الخلايا اللحائية الجديدة** : خليط من مجموعات من خلايا اللحاء البصرى الأولي فى الإنسان. لاحظ تنظيمها العمودى السائد. يشار عادة للخلايا العصبية بالطبقة التى تنشأ منها أجسامها (انظر الاسم على اليسار). توجد أنواع الخلايا ذاتها فى كل أرجاء اللحاء الجديد. يُوضَّح فقط كسر ضئيل من كل خلايا هذه المنطقة. معدل عن Braak, 1976.

الخلايا الهرمية: حمار شغل اللحاء

للخلايا العصبية اللحائية تنظيم عمودى سائد، متعامد على السطح. حين يتطلع المرء إلى قطاع من اللحاء مصبوغ بشكل مناسب (كما فى الشكل ٤ـ١)، يتذكر غابة تمتد فروعها وجذورها أفقيا إلى حد ما، انتشارها الأساسى إلى أعلى.

وهذا التوجه أوضح ما يكون فى **الخلايا الهرمية**، وتمثل ثلاثة أرباع الخلايا العصبية اللحائية. وخاصيتها المميزة **تفريعة شجرية فى القمة** ترتفع مستقيمة من جسم خلية على شكل هرم باتجاه السطح. تنبعث عشرات **التفريعات الشجرية القاعدية** من جسم الخلية، مشعة للخارج فى كل اتجاه، مثل شعر أشعث.

تغادر محاور الكثير من الخلايا العصبية الهرمية قاعدتها الأصلية لتتصل بالمناطق اللحائية الأخرى أو بأهداف تحت لحائية فى المهادين، والعقد القاعدية، ومناطق أخرى. قبل أن تغادر المحاور إلى أهدافها البعيدة تخرج منها فروع موضعية، تسمى **روادف** collaterals. تقدم الروادف المحورية لجيرانها نسخة كربونية من الرسالة المرسلة إلى أجزاء بعيدة فى الدماغ. تستثير المشابك فى نهاية هذه المحاور أهدافها بإفراز جزىء **الجلوتاميت** حامل الرسائل.

الخلايا الهرمية مسئولة تقريبا عن كل الاتصالات بين المناطق وهى الوسيلة الوحيدة لنقل الرسائل بسرعة إلى خارج اللحاء بشكل مناسب. الحزمة المكونة من ٢٠٠ مليون ليفة قوية فى **الجسم الجاسئ** وتربط نصفى اللحاء (الشكل ١٧ـ١)، مسارات التغذية الرجعية بين مختلف مناطق اللحاء ومن اللحاء إلى المهاد (الفصل السابع)، و**المسار اللحائى الشوكى**، وبه يؤثر اللحاء الحركى فى العضلات الإرادية، تنشأ كلها من الخلايا الهرمية. لا تشمل هذه الامتدادات واسعة الانتشار المحاور المتفرعة عادة (إلا باتجاه النهاية، حين يقوم المحور باحتكاكات مشبكية كثيرة فى المنطقة المستهدفة). أى أنه من غير الشائع أن ترسل خلية عصبية هرمية فرعًا لمنطقة لحائية "أ" وآخر لمنطقة لحائية "ب". بدلا من ذلك، تُستخدَم مجموعتان من الخلايا العصبية تختلفان قليلا فى طبقة المنشأ وفى الشكل، إلخ،

واحدة لنقل المعلومات إلى "أ" وأخرى إلى "ب". كأن المعلومات تحتاج إعدادًا خاصًا لمستقبلها يتطلب خلايا عصبية مختلفة.

• ويختلف الوضع تمامًا فى الأجهزة متعددة الامتدادات التى تنشأ فى جذع الدماغ، وتفرز النور أدرينالين أو السيروتينين أو الدوبامين أو الأسيتايل كولين فى مواضع كثيرة من جذع الدماغ. كما نشرح فى الفصل الخامس، يبدو أن هذه المسارات الصاعدة تحقق انتشارا واسعا، فى صورة "آلو، استيقظ، ثمة أمر مهم يحدث"، بينما تنقل خلية لحائية رسالة خاصة إلى عنوان خاص.

تصل التفريعات الشجرية فى قمة الخلايا العصبية الهرمية التى توجد أجسامها فى الطبقة الخامسة إلى كل مكان من السطح، مثل الهوائى. للخلايا الهرمية الأصغر تفريعات شجرية قمية صاعدة قد تنتهى فى الطبقة التى فوقها مباشرة.

التفريعات الشجرية فى الخلايا العصبية المثيرة تغطيها **أشواك شجرية**، بنى تشبه الشوكة طولها ١ ميكرو متر(٩). تشمل معظم المسارات اللحائية أشواكا، لأن كل واحدة منها تحمل على الأقل مشبكًا مثيرًا. ربما تُغطَّى الخلية العصبية الكبيرة بمائة ألف شوكة، مشيرة إلى أن هذا الرقم **على الأقل** من المعلومات المشبكية الواردة المثيرة يتجمع عليها (لكن ليس بالضرورة من العدد ذاته من الخلايا العصبية حيث إن المحور الواحد يمكن أن يكون مشابك متعددة مع خلية عصبية واحدة).

رغم وجود الخلايا العصبية الهرمية فى كل أرجاء اللحاء، يمكن أن يختلف تشريحها المجهرى اختلافا جوهريا من منطقة إلى التالية. صبغ جى إلستون Guy Elston فى جامعة كوينزلند Queensland فى استراليا الخلايا الهرمية فى الطبقة الثالثة فى الكثير من المناطق اللحائية فى القرد الآسيوى وأعاد تنظيمها. ووجد هو وزملاؤه زيادة منظمة فى تعقد التفريعات الشجرية القاعدية فى هذا النوع من الخلايا (فيما يتعلق بتفريعاتها الشجرية، وعدد نقاط التفرع، وعدد المشابك المثيرة) وهم يأخذون عينات من خلايا مناطق أمامية بشكل تدريجى. وهكذا تكون التفريعات الشجرية للخلايا العصبية الهرمية فى مقدمة الدماغ أكثر إتقانا بشكل جوهرى وأكبر من الموجودة فى القطب المقابل، فى اللحاء البصرى

الأولي؛ لأنها هدف لما يزيد ١٦ مرة من المشابك المثيرة. الخلايا العصبية فى المناطق اللحائية الأعلى أكثر تعقيدًا، ويفترض أنها أقوى حسابيا، من الموجودة فى المناطق الحسية.(١٠)

تشكل **الخلايا النجمية الشوكية** فئة فرعية من الخلايا العصبية المثيرة. يقتصر وجودها على الطبقة الرابعة من اللحاء البصرى الأولي، تحتشد بكثافة عالية جدا (بكثافة فعالة تصل إلى ١٨٠ ألف خلية فى ١مم^{٣}) ويمكن اعتبارها خلايا عصبية هرمية فقدت تفريعاتها الشجرية القمية. الخلايا النجمية موضعية جدا؛ ويندر أن تغامر محاورها بالخروج عن منطقتها.

مثل الكثير من الناس، يتحدث اللحاء كثيرا مع نفسه. يصنع كسرًا صغيرًا فقط من الثلاثمائة إلى الثمانمائة مليون مشبك فى ١مم^{٣} من النسيج اللحائى من محاور من خارج هذه المنطقة اللحائية. ويصنع الباقى بالخلايا العصبية القريبة وفيها. فى اللحاء البصرى الأولي، ينشأ أقل من ٥٪ من المشابك المثيرة من المحاور الركبية. ينبثق كسر مماثل من المناطق اللحائية الأعلى التى تعود بالتغذية إلى اللحاء البصرى الأولي. تنبثق معظم - الغالبية العظمى - المشابك الأخرى من الخلايا العصبية الداخلية. عمومًا، قد تمثل هذه النسب المناطق اللحائية الأخرى أيضًا. من الضرورى لرفاهية اللحاء ضبط هذه التغذية الرجعية الإيجابية الهائلة؛ ودون ذلك قد ينفجر النسيج كله فى نوبة من التأجج.(١١)

الخلايا المثبطة باقة متنوعة

الخلايا العصبية التى تخلو تفريعاتها الشجرية من أشواك التفريعات ذات مظهر أملس، وهكذا تقسم على أنها **خلايا عصبية ملساء**. تطلق أطرافها المشبكية الناقل العصبى الكابح حمض البوتريك الأمينى جاما (جابا GABA). تنشيط المشبك الجابى GABAergic يخفض احتمال تأجج الخلية بعد المشبكية بنقل الجهد الكهربى للغشاء فترة وجيزة بعيدًا عن عتبة الشوكة. يمكن أن يغلق الكبح القوى الخلية تماما، مانعا أى ظهور للشوكات.

الخلايا الملساء خلايا عصبية بينية، تصنع مشابك بجوار جسم خليتها أو فى الطبقات التى فوقها أو تحتها مباشرة، وليس فى مناطق لحائية بعيدة. وُصِفت

دستان تقريبا من أنواع الخلايا العصبية البينية الكابحة، وتشكل إجمالا ٢٠٪ تقريبا من الخلايا العصبية اللحائية، متنوعة جدا فى الشكل والوظيفة. يستهدف بعضها أساسا الجسم أو أكمة hillock المحور منظمة استهلال جهود الفعل السريع وتفريغها. وتزود أخرى التفريعات الشجرية بالأعصاب، حيث تساعد فى الحسابات الموضعية أو فى توقيت جهود الفعل. (١٢)

خلايا السلة basket هى الخلايا العصبية البينية الكابحة الأكثر عددًا. توجد فى كل الطبقات، ولها تفريعات شجرية تشع بضع مئات من الميكرومتر بعيدا عن أجسامها الممتلئة، ولها نظام يشبه العش من مشابك تغلف أجسام الخلايا والتفريعات الشجرية القريبة للخلايا العصبية المثيرة. وتشمل فئات الخلايا الكابحة الأخرى خلايا الثريا chandelier والخلايا ثنائية الباقة double-bouquet.

ما عدد أنواع الخلايا؟

ما عدد العناصر العصبية المميزة المحتمل وجودها؟ تتطلب نظرية الشبكة العصبية نوعين ـ خلايا مثيرة وكابحة ـ لكن مئات الأنواع هى الإجابة المحتملة أكثر. فى الشبكية وحدها، عُرف أكثر من خمسين نوعًا من الخلايا. إذا كان لكل منطقة لحائية هذا التنوع، وليس هناك من سبب لنتوقع غير ذلك، يمكن أن تُعد فئات الخلايا المميزة بالمئات.(١٣)

تغطى الخلايا العصبية فى الشبكية مساحة بصرية؛ تُغطَّى كل نقطة بالتفريعات الشجرية لكل نوع من الخلايا مرة على الأقل. إجمالا، لكل نوع من الخلايا مدخل للمجال البصرى كله. يقدم مبدأ التغطية tiling principle نفسه، المطبق على اللحاء البصرى، تقديرات بألف نوع من الخلايا.(١٤) إذا كان لكل منها نمطه المميز من الارتباط المشبكى مع كل نوع آخر من الخلايا، يمكن إدراك عدد مذهل من التفاعلات بين خلية وأخرى. ولا ينبغى أن تدهشنا هذه الإمكانية الهائلة للخصوصية، إذا وضعنا فى الاعتبار العالم الجزيئى، بتفاعلات القفل والمفتاح بين البروتينات والإنزيمات. لماذا ينبغى أن تكون الخلايا العصبية أقل تعقيدًا وخصوصية من الجزيئات؟

٤ ـ ٤ اللحاء البصرى الأولي:

المدخل الرئيسى للرؤية

الآن، وقد قدمنا الممثلين الأساسيين للحاء، نتحول إلى جزء من المسرح الذى ظهروا عليه أول مرة فى الجهاز البصرى، أعنى اللحاء البصرى الأولي أو **المنطقة ١٧ فى تقسيم برودمان Brodmann**. فى البشر، معظم اللحاء البصرى الأولي مطمور فى **الشق المهمازى calcarine fissure** فى الجدار المتوسط من الدماغ (انظر الصورة الأمامية)[١٥].

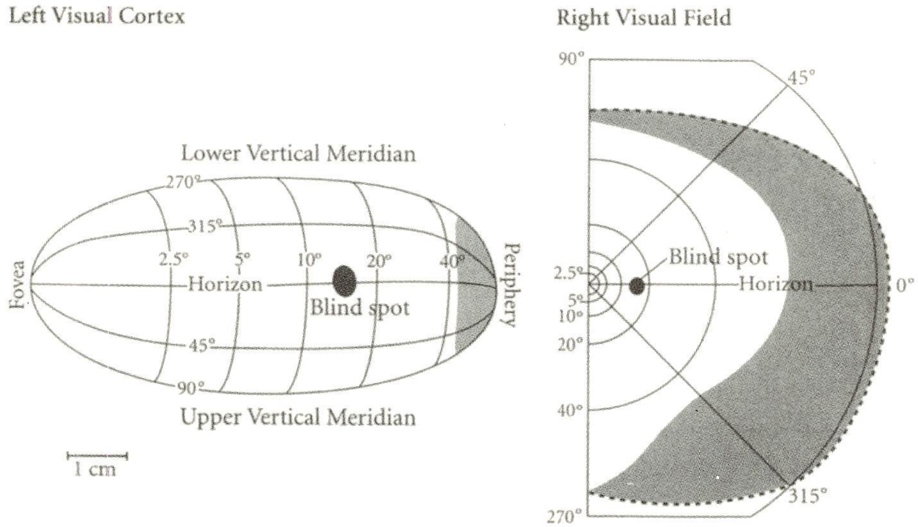
يساوى حجم اللحاء البصرى الأولي وسمكه فى نصف الدماغ حجم بطاقة ائتمان وسمكها. يختلف موضع هذه الخصائص المميزة وتوجهها والشق المهمازى من فرد إلى آخر وحتى بين نصفى الدماغ فى شخص واحد. النمط الدقيق للانبعاجات والالتفافات اللحائية مميزة مثل بصمات الأصابع.

يمتد نتاج النواة الركبية الجانبية، بضعة ملايين من **المحاور الركبية القوية**، إلى طبقات فرعية مميزة فى اللحاء البصرى الأولى، اعتمادًا على نوع الخلايا العقدية الشبكية التى تستقبل منها مُدْخَل خلايا الترحيل فى النواة الركبية الجانبية (القسم ٣ ـ ٥).

العالم مرسوم على اللحاء البصرى الأولي

بطريقة طوبوجرافية

إذا كان الجهاز البصرى من تصميم مهندس، يحتمل أن يتصل نتاج الشبكية باللحاء البصرى الأولي على الجانب نفسه من الدماغ. اختار التطور، مع ذلك، القيام بالوظيفة بشكل مختلف قليلا. لم يضع فقط النواة الركبية الجانبية بين النواة الركبية الجانبية والشبكية، لكنه ابتكر أيضًا نمط امتداد شبه متقاطع semi-crossed. ونتيجة لذلك، يُرسَم كل النصف الأيسر من المجال البصرى فى اللحاء البصرى الأولي الأيمن، ويمثل اللحاء البصرى الأولي الأيسر النصف الأيمن من المجال (الشكل ٣ـ ٦).[١٦]



الشكل ٤ـ٢ **رؤية العالم من اللحاء البصرى الأولي:** يستقبل اللحاء البصرى الأولي الأيسر، واضح ومبسوط، المدّخل من المجال البصرى الأيمن. ترسم النقرة على القطبَ الخلفى من اللحاء، ويجرى الأفق بطول قاع الشق المهمازى. تناظر الخطوط الرأسية (القريبة) فى اللحاء أنصاف دوائر من اللامركزية الثابتة فى الفضاء البصرى. تشمل المنطقة الرمادية منطقة هلالية مرئية للعين اليمنى فقط. لا شىء يرى خارج الخطوط المنقطة. معدل عن .Horton and Hoyt (1991a)

تُنظَّم المسارات البصرية بطريقة تشبه الخريطة، بمواضع متجاورة فى المجال البصرى تمتد إلى مواضع قريبة فى اللحاء. ويعرف هذا **بالتنظيم الطوبوجرافى** topographic organization. نتيجة التمثيل المفرط للنقرة (الشكل ٣ـ٢)، تُمنَح الأجزاء المركزية من المجال البصرى أهمية أكبر من الأجزاء الطرفية (الشكل ٤ـ٢). تأخذ درجة واحدة مركزية منزلة حقيقية أكبر فى اللحاء البصرى الأولي مثل ذلك الجزء من الطرف البصرى الذى يُرَى بعين واحدة فقط.(١٧) يشير علماء وظائف الأعضاء لهذا التنظيم المكانى باسم **خريطة الشبكية** retinotopic map.

رغم التمثيل المنظم لكل هذه الخرائط، يوجد تناثر مهم. فى كسر من مقياس بالمليمتر، توجد تقلبات كبيرة بين المواضع المتجاورة فى مجال الاستقبال وقفزات مفاجئة أحيانًا. بتعبير آخر، تخطيط العالَم على اللحاء البصرى الأولي أملس ومتصل على المستوى المرئى بالعين المجردة، لكنه مذبذب ومتقطع أحيانًا على المقياس المجهرى.

التحول الدرامى لخصائص مجال الاستقبال فى اللحاء البصرى الأولي

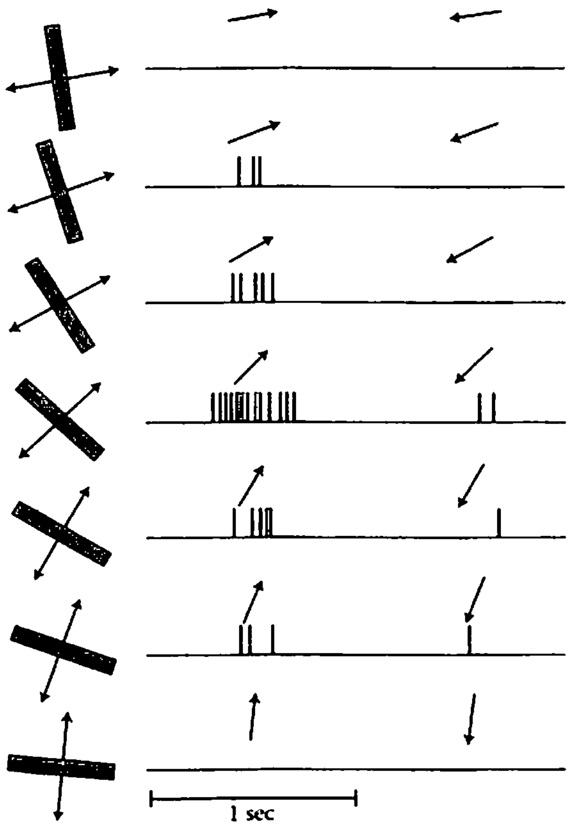
اكتشف ديفيد هوبل وتورستن ويسل[١٨] فى كلية الطب فى هارفارد فى أواخر خمسينيات القرن العشرين حدوث تغير عميق فى تنظيم مجال الاستقبال فى اللحاء البصرى الأولي. وحتى ذلك الوقت، حاول الباحثون ـ بشكل غير ناجح إلى حد ما ـ جعل الخلايا اللحائية تستجيب بقوة للبقع والحلقات ومحفزات دائرية أخرى. وجد هوبل وويسل، بتتبع ملاحظة عابرة، أن معظم الخلايا فى اللحاء البصرى الأولي تُدار بالحافات أو القضبان أو الحواجز ـ كل ما له اتجاه معين. فضلت بعض الخلايا شقًا طوليا ساطعا باتجاه معين، وفضلت أخرى قضيبا قاتما على خلفية ساطعة بالميل ذاته، وبعضها حدًا قاطعا بين النور والعتمة. الخلايا العصبية وحدات بناء لإدراك الشكل.[١٩]

اتجاه المُدْخَل البصرى ليس فقط صفة المحفز الذى يُحسَب من المُدْخَل الركبى. تفضل خلايا كثيرة المحفزات المتحركة، والكثير منها لا يتأجج إلا عند تحرك قضيب فى اتجاه معين، **الاتجاه المفضل** (الشكل ٤ـ٣). لا تستثير الحركةُ فى اتجاهات أخرى الخليةَ العصبية. فى بعض الحالات، تستثير الحركةُ فى **الاتجاه الخطأ** للخلية الكبح لقمع حتى التأجج التلقائى. ويختلف تأجج الخلية أيضًا مع سرعة المحفز.

بالتطلع بشكل أكثر دقة إلى كل الخلايا انتقائية الاتجاه، وجد هوبل وويسل نوعين متميزين: أقلية تسمى خلايا بسيطة، سريعة الاستثارة بالموضع الدقيق

للقضيب الموجه فى الفضاء البصرى. حرِّك القضيب إلى أعلى كسرا من الدرجة تنخفض استجابتها كثيرا. الخلايا البسيطة خطية غالبًا؛ لأن الاستجابة لمحفزين صغيرين يعرضان فى وقت واحد يمكن توقعها بمجموع استجابتى كل محفز على حدة. عند لا مركزية معينة، توجد خلايا بسيطة بمجالات استقبال صغيرة ومتوسطة وكبيرة. تلتقط الخلايا ذات مجالات الاستقبال الصغير تفاصيل مكانية دقيقة، وتستجيب ذات المجالات الكبيرة بأفضل شكل للبقع الرديئة الطويلة. يعتبر دارسو الذكاء الاصطناعى والرؤية الآلية هذا دليلا على أن اللحاء البصرى الأولي يحول المشهد البصرى من خلال بنك من المرشحات التى تعمل بمقاييس مكانية متعددة. (٢٠)

غالبية الخلايا العصبية تسمى الخلايا المعقدة ولا تبالى كثيرا بالموضع الدقيق للحافة، ما دامت أخذت الاتجاه واتجاه الحركة بشكل مناسب. يبدو الأمر وكأن الخلايا المعقدة تستقبل المُدْخَل من عدة خلايا بسيطة مع انتقائية الاتجاه ذاته وتتغير مجالات استقبالها فى علاقة كل منها بالأخرى. أو بتعبير مختلف، الخلايا المعقدة أقل حساسية من الخلايا البسيطة للوضع الدقيق للمحفز.



الشكل ٤ ـ ٢ خلية انتقائية الاتجاه: استجابة خلية عصبية واحدة فى اللحاء البصرى الأولي فى قرد لتغير اتجاه قضيب واتجاه حركته. تتأجج الخلية بأقوى ما يكون إذا تحرك القضيب أعلى يمينا. معدل عن Hubel and Wiesel, 1968.

ربما تحتوى معظم المناطق اللحائية على هذا النوع من الانتقال من الخلايا البسيطة إلى المعقدة. على سبيل المثال، ربما لا تستجيب خلية شبه بسيطة للوجوه للوجه المفضل إلا إذا وضع فى الربع البصرى العلوى، وتتأجج خلية شبه معقدة للوجه باهتمام أقل بكثير بمكان وجوده فى المجال البصرى.

تظهر الخلايا العصبية فى اللحاء البصرى الأولي انتقائية لخصائص تحفيزية أخـرى أيضًا. يشتـهر بعـضها بالخـلايا العصبيـة التـى تتوقـف فـى النهـاية end-stopped؛ لأن استجابتها لقضيب طويل أقل بكثير من استجابتها لقضيب أقصـر. وربمـا تـمثل مثل هـذه الخلايـا الإشـارة لمنـحنى الخطـوط أو الحـافـات. وتستجيب أخرى لخليط مكانى معقد من الألوان المتضاربة.

تمتلك الخلايا العصبية اللحائية منطقة كبيرة خارج مجال استقبالها المعرَّف كلاسيكيا، ويمكن منها تعديل استجابتها. لا تولد المحفزات ، بنفسها، فى هذا الجزء غيـر الكلاسيكى من مجال الاستقبال شوكات، لكن يمكن أن تغير بعمق استجابة الخلية فى مجال الاستقبال الكلاسيكى. يتطور الكثير من هذه التأثيرات عبر الزمن، اعتمادًا على الخبرة البصرية للحيوان. لا يوجد هذا النوع من المرونة فى الشبكية.

تخيل، على سبيل المثال، أن قضيبًا واحدًا موجها بشكل مناسب يستقر بالضبط وسط مجال استقبال خلية. تتأجج الخلية العصبية بقوة. إذا طمر هذا القضيب فى مجال قضبان موجهة بشكل مماثل، صانعًا نمطًا تركيبيًا متجانسًا، تنخفض الاستـجابـة. علـى العكس، إذا اختلف اتجاه القضيب المركزى عن اتجاه مجال القضبان المحيطة به، يمكن أن يكون نشاط الخلية أكبر من الاستجابة للقضيب المركزى ذاته. كلما كان المحفز أكثر بروزا فى مجال الاستقبال الكلاسيكى للخلية مقارنة بما يحيط بها، كانت استجابة الخلية أقوى. يمكن التفكير فى هذه التأثيرات بوضع المحفز المركزى فى سياق حقيقى فى المشهد البصرى عمومًا.[٢١]

تعتمد التعديلات السياقية أيضًا على وجود القضيب مع عناصر خطية أخرى فى منطقته. يحدث عنصر الخط الذى يمثل جزءًا من محيط ممتد يتلوى عبر المجال البصرى استجابة أكبر من العنصر المعزول. تحدث هذه التأثيرات كلها فيما بعد، ويحتمل أن تنقل التغذية الرجعية من مناطق لحائية أعلى الكثير منها. تظهر عادة بعد ٨٠ ـ ١٠٠ ملى ثانية من الاستجابة الأولية للخلية.

يمكن أن تكون تأثيرات مجال الاستقبال غير الكلاسيكى معقدة تمامًا، دليلا على ارتباط إدراك أى محفِّز بشكل لا فكاك منه بعناصر أخرى فى العرض واستحالة فهمه تماما على حدة. وكان هذا، بالطبع، مبدأ حركة الجشتالت Gestalt التى نشأت فى ألمانيا بين الحربين العالميتين.[٢٢]

المعمار اللحائى والمبدأ العمودى

من المبادئ الأساسية للمعمار العصبى تشفير الخلايا العصبية المتقاربة لمعلومات مماثلة. تقتصد هذه الخاصية واسعة الانتشار فى اللحاء والأنسجة العصبية الأخرى فى الطول الكلى للدائرة (لتجاور الخلايا العصبية التى تحتاج للترابط فيما بينها لأسباب وظيفية). (٢٣) يتجلى التجمع المكانى بطرق مختلفة.

تميل الخلايا فى طبقة المُدْخَل إلى أن تكون أحادية العين monocular، يدفعها فى الأساس مُدْخَلٌ من العين اليسرى أو اليمنى. معظم الخلايا خارج هذه الطبقة ثنائية العين binocular، أى تتأثر استجابتها بالمُدْخَل من العينين اليسرى واليمنى. تشكل الخلايا ثنائية العين المرحلة الأولى مع المسارات البصرية حيث يحدث هذا الالتقاء. يمكن لهذه الخلايا، مبدئيا، الحكم على عمق خصائص مجالات استقبالها بتقييم الاختلاف الضئيلة الناتجة من رؤية المشهد ذاته من نقطتين مختلفتين قليلا.

حين تخترق الطبقة 4c بقطب كهربى بطريقة مائلة، تجتمع معًا خلايا يدفعها أساسًا مُدْخَل من عين واحدة، مقدمة صورا من العين الأخرى. مرئية بصبغة مشعة محقونة فى عين، تنتج صور رائعة جدا مخططة كالحمار الوحشى، مع حزم من خلايا مميزة بالتبادل مع خلايا غير مصبوغة. تقتصر خطوط الهيمنة البصرية هذه على طبقة المُدْخَل. (٢٤)

حين يمتد التجمع عبر معظم الطبقات، يتحدث علماء الأعصاب عن تمثيل عمودى للمعلومات. تشترك الخلايا العصبية فى عمود لحائى، ممتد من الطبقات السطحية إلى العميقة، فى خاصية أو أكثر. كما تناولنا بإسهاب فى القسم ٢-٢، يرتبط المبدأ العمودى بالتشفير الصريح للمعلومات بقوة. وأظن أنا وفرنسيس أنه بصرف النظر عما يُمثَّل فى طراز عمودى يصبح صريحا هناك.

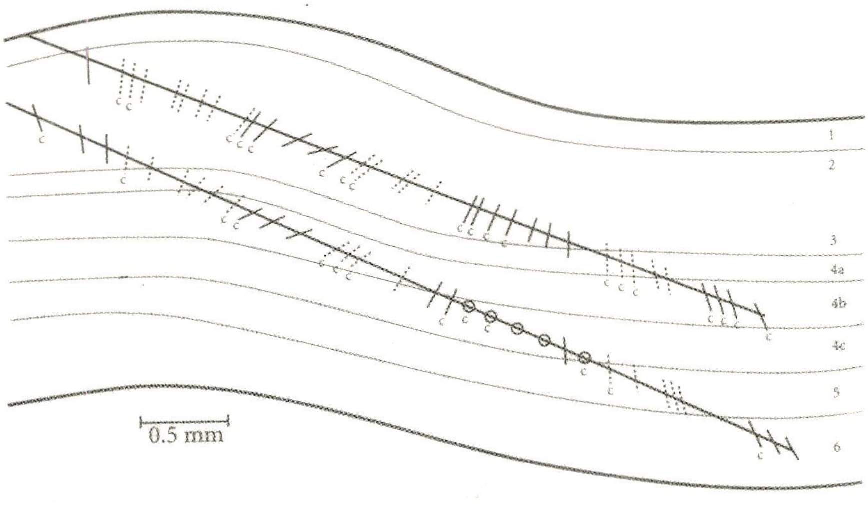
فى اللحاء البصرى الأولي، تتقاطع على الأقل صورتان عموديتان، واحدة للاتجاه وواحدة لأوجه منتقاة للون.

أعمدة لاتجاه المحفِّز:

لاحظ هوبل وويسل مبكِّرًا فى استكشاف اللحاء أنهما كلما سجلا نشاط خليتين عصبيتين أو أكثر من قطب كهربى واحد فى وقت واحد، تماثل الاتجاه المكانى المثالى للاثنين. إضافة إلى ذلك، حين حُرِّك القضيب الكهربى متعامدا

على السطح فى طبقات مختلفة، كان للخلايا العصبية الاتجاه ذاته (تقريبا) بشكل انتقائى. وإضافة إلى ذلك غطت مجالات استقبالها الموضع ذاته فى الفضاء. هذه النقطة المحورية جديرة بالتكرار: تشفر الخلايا العصبية فى عمود رأسى منطقة واحدة معينة فى الفضاء البصرى ومجالا ضيقًا من الاتجاهات.

إذا حُرِّك القضيب الكهربى بزاوية خلال اللحاء، يتغير انتقاء اتجاه الخلايا العصبية بطريقة منتظمة ومتصلة عموما (الشكل ٤-٤). ويسميها علماء الأعصاب **أعمدة التوجه** orientation. ويمكن رؤية هذه الأعمدة مباشرة باستخدام صور بصرية جيدة الوضوح. يحدث مجال كامل من الاتجاهات فى حزمة من نسيج لحائى يمتد حول مليمتر واحد. (٢٥)



الشكل ٤-٤ علاقات الجوار فى اللحاء: تفضيل الاتجاه، وحساسية اللون، والهيمنة البصرية للخلايا مسجلة باختراق جانبى مرتين لقضيب كهربى فى اللحاء البصرى فى قرد. تشترك الخلايا العصبية المتجاورة فى انتقاء المحفِّز. ترمز الخطوط القصيرة إلى الاتجاه المفضل للخلية، مع دوائر غير ممتلئة مشيرة إلى خلايا عصبية بمجالات استقبال دائرية. الخطوط المنقطة مقابل الخطوط المتصلة تشير إلى أن الخلية العصبية تُدفَع أساسا بمُدْخَل من العين اليسرى أو اليمنى. يمثل حرف c خلية حساسة للون. معدل عن Michael, 1981.

بينما يُرسَم الاتجاه عمومًا بطريقة متصلة على اللحاء، قد توجد ثغرات أو كسور مفاجئة فى خريطة الاتجاه. ويبدو أن هذا يرتبط بعدم التجانس فى طوبوجرافيا مجال الاستقبال. ويحتمل تشويه خريطة الفضاء البصرى على المستوى المجهرى. ينبغى لمقاييس دقيقة أن تكشف هذه الأشكال من عدم الدقة، وتماثل التشوهات التى قدمها واضعو الخرائط الأولى نتيجة المعلومات الخطأ (مثل وضع موضعين متجاورين وهما ليسا كذلك).(٢٦)

ما يتضمنه هذا بالنسبة للإدراك الواعى ليس واضحًا. كيف تتجلى هذه الغضون؟ ربما يربط المرء التقدم الأملس لشىء عبر الفضاء بموضعه المُدْرَك. ينبغى للشخص ملاحظة الموضع ومعدل تغير موضع نقطة ضوء تومض فى مواضع متنقلة ومتعاقبة وهو يركز بصره عليها. مع ذلك لا يتطلع شىء سوى الخلايا إلى الخريطة الطوبوجرافية للفضاء بحيث يمكن تعويض عدم التجانس الموضعى بدائرة بعد مشبكية تكتمل عبر الفضاء. قد لا تتضح هذه التشوهات الفضائية فى السلوك أو فى الإدراك الواعى أبدًا.

جهاز البقع:

فى أواخر سبعينيات القرن العشرين اكتشفت، صدفة، مارجريت ونج ريلى Wong-Riley فى جامعة ويسكونسن Wisconsin أنه إذا صُبِغ لحاء قرد بإنزيم مؤكسد السيتوكروم cytochrome oxidase، يتجلى معمار فريد. يظهر نسيج منقط بالبقع فى الطبقتين السطحيتين الثانية والثالثة، ويشحب تماما فى الطبقة السادسة. هذه البقع مسجلة مع أعمدة الهيمنة البصرية؛ أى أن كل بقعة تقع فى عمود عين واحدة. يمكن اعتبارها مقصورة منفصلة فى اللحاء البصرى الأولي؛ لأن البقع تصنع بشكل مفضل ارتباطات مشبكية مع البقع الأخرى، وترتبط منطقة ما بين البقع بمناطق أخرى بين البقع. تؤكد دراسات الارتباط البينى هذه الملاحظات. ويمكن أيضًا اقتفاء جهاز البقع خارج اللحاء البصرى الأولي.(٢٧)

تختلف الخلايا فى بقع مؤكسد السيتوكرومين عن الخلايا المحيطة من حيث انتقاء الاتجاه الضعيف أو المنعدم ومن حيث الاهتمام باللون. تظهر الخلايا العصبية مزدوجة التضاد double-opponent أول ما تظهر فى البقع. وتسمى

هذه الخلايا بهذا الاسم؛ لأن لها مجال استقبال متضاد على مستوى البنية الفضائية ومجال استقبال متضاد الألوان. تستثار أكثر أنواع الخلايا مزدوجة التضاد شيوعًا بالأحمر وتكبح بالأخضر فى الجزء المركزى من مجال استقبالها الكلاسيكى، وتكبح بالأحمر وتستثار بالأخضر فيما يحيط بها.(٢٨)

خرائط متعددة وتيارات متوازية

فــى اللحــاء البصــرى الأولي

يحتوى اللحاء البصرى على خرائط متعددة ومتداخلة لوضع المحفزات واتجاهها واتجاه حركتها، وللهيمنة البصرية، وللون. ما العلاقة بين هذه الخرائط؟ هل هى منظمة عشوائيا فى علاقة كل منها بالأخرى؟ هل هناك فسيفساء منتظمة - وحدة خلية بلغة علم الكريستال - تمثل فيها كل هذه المتغيرات؟ ينبغى أن تشفر كل طوبة فى هذه الفسيفساء معلومات تتعلق بكل القيم المحتملة للأبعاد المناسبة. قُدِّمت البراهين النظرية على أن تسع صفات أو عشرا يمكن أن تُمثَّل بشكل معقول بطريقة متصلة. لكن معظم المناطق - لم تسجل سوى خريطة أو اثنتين (الفصل الثامن) - التى تتضمن أبعادًا كثيرة للخصائص الأخرى ربما لم تكتشف بعد أو أنها غير ممثلة بهذه الطريقة الصريحة فى اللحاء البصرى الأولي. عند هذه النقطة، لا يتفق علم الأعصاب على صورة نهائية.(٢٩)

هل ما يحدث فى مسارات الخلايا الكبيرة والصغيرة والمخروطية يُرَى فى طبقات المُدْخَل إلى اللحاء البصرى الأولى (القسم ٣-٥)؟ ما مصيرها التالى؟ يمتد على الأقل رافد من مسار الخلايا الكبيرة من الطبقة 4ca إلى الطبقة 4b، ومنها تُرسَل المحاور إلى منطقة معالجة الحركة (المنطقة الصدغية الوسطى). لكن مسار الخلايا الصغيرة يساهم أيضًا - عمومًا، هل تشوش معالجة المساحة وما بينها التفرع الثنائى بين هذين التيارين؟ رغم الاقتراحات السابقة بشأن الانفصال التشريحى المستمر بين مدخل الخلايا الكبيرة والصغيرة فى أعماق اللحاء، يتمازجان.

بدلا من ذلك، ينبثق مساران جديدان من اللحاء البصرى الأولي - تيارا الرؤية

للإدراك والرؤية للفعل - وينسابان باتجاه لحاء مقدم الفص الجبهى. توصف خصائصهما المميزة ومساريهما فى القسم ٧ - ٥.

٤ - ٥ الملخص

يلخص الفصل جبالا من البيانات المرتبطة ببنية اللحاء البصرى الأولي ووظيفته، ومعظم المناطق اللحائية الأخرى بالوكالة. مقيسا بنجمى القطبى my polestar - البحث عن الارتباطات العصبية للوعى - ما أجزاء هذه المادة المرتبطة مباشرة بدراسة الوعى؟

هناك أنواع كثيرة من الخلايا العصبية اللحائية. على أساس الوضع الصفائحى لجسم الخلية، وشكل تفريعاتها الشجرية، والمناطق التى تستهدفها المحاور، يمكن تمييز حوالى ١٠٠ نوع من الخلايا (ويحتمل وجود أعداد أكبر بكثير). الخلايا الهرمية سائدة؛ توصل مجموعة فرعية منها المعلومات المحسوبة فى الدوائر الموضعية إلى العقد الأخرى، داخل اللحاء وخارجه.

بينما بنية مجال استقبال الشبكية والخلايا الركبية نمطية نسبيا، تعرض الخلايا اللحائية تنوعا مذهلا فى الاستجابات الانتقائية لحركة المحفز ولونه واتجاهه وعمقه وخصائصه الأخرى. يمتد مجال استقبالها غير الكلاسيكى متجاوزا حدود المنطقة فى فضاء يستثير الخلية مباشرة. ويقدم السياق الذى يوضع فيه أى محفز بصرى. وهكذا يمكن أن تتغير جوهريا الاستجابة العصبية لقضيب معزول إذا طُمِر القضيب فى مجال من الخطوط.

الخلايا العصبية التى تواجه بقطب كهربى يخترق اللحاء عموديا على سطحه تستجيب بشكل مماثل فيما يتعلق بموضع مجال الاستقبال والاتجاه المفضل. والأداة تختار عينة من الخلايا العصبية التى تزاح جانبيا، تتغير خصائص مجال استقبالها تدريجيا. باختصار، الطيور على أشكالها تقع. ويتجلى هذا فى أعمدة الاتجاه والهيمنة البصرية كما يتجلى فى بقع اللون.

متبعا التفسير الذى قدمته فى الفصل الثانى، يتضمن وجود تمثيل عمودى لموضع المحفزات واتجاهها أن هذين المتغيرين يُمثَّلان صراحة فى اللحاء البصرى

الأولي (تذكرّ أن هذا شرط ضروري، لكنه غير كاف، للارتباطات العصبية للوعى). وهذه الحساسية للخطوط الموجهة لم تتكامل بعد فى بنى محكمة، مثل الوجوه، أو أجزاء الجسم، أو الأشياء. أى أن الوجوه تشفرها خلايا اللحاء البصرى الأولى ضمنيا. ولا يأتى تمثيلها الصريح إلا فيما بعد.

فى الفصل التالى أحاول توضيح بعض الدعاوى المتصارعة المحيطة بمفهوم الارتباطات العصبية للوعى، قبل أن أبرهن فى الفصل السادس على أن الخلايا العصبية فى اللحاء البصرى الأولي ليست جزءا من الارتباطات العصبية للوعى بالنسبة للرؤية.

الهوامش:

(١) إيمانويل سويدنبرج Swedenborg (١٦٨٨ ـ ١٧٧٢) : عالم وفيلسوف سويدى (المترجم).

(٢) للاطلاع على تفاصيل عن اللحاء الجديد، وعناصره التكوينية، ومعماره، وخطوطه التطورية، انظر White, 1989؛ Braitenberg and Schüz, 1991؛ Zeki, 1993؛ Peters and Rockland, 1994؛ Mouncastle, 1998؛ والتعليق التطورى الرائع Allman, 1999.

(٣) الرئيسات السفلى prosimian: رئيسات أدنى من القردة (المترجم).

(٤) لا تتمدد كل المناطق اللحائية بالتساوى أثناء التطور. على سبيل المثال، يشكل اللحاء البصرى الأولي ١٢٪ من المنطقة اللحائية فى القرود، ولا يشكل إلا ٣٪ فى البشر، وزاد لحاء مقدم الفص الجبهى من ١٠٪ فى القرود إلى ٣٠٪ فى البشر .(Allman, 1999)

(٥) تتميز الخلايا العصبية المغزلية (von Economo and Koskinas, 1925) ، بأجسام طويلة وكبيرة فى الجزء السفلى من الطبقة الخامسة، الطبقة الخارجية من اللحاء (Nimchinsky et al., 1999) لا توجد فى حديثى الولادة، ويستقر عددها فى البالغين حيث تبلغ ٤٠ ألف خلية عصبية تقريبا فى لحاء المطوقة الأمامى ومائة ألف تقريبا فى Fl، وهى منطقة جبهية أخرى. تتورط هذه المناطق فى تقييم الذات ومتابعتها والتحكم فى الانتباه.

(٦) يؤكد Brewer et al., 2002 على أوجه التماثل، ويؤكد Vandyffel et al., 2002 على أوجه الاختلاف بين النوعين فى تنظيم المناطق اللحائية البصرية كما بحثت باستخدام التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى. يوثق Preuss, Qi and Kaas, 1999 الاختلافات الضئيلة فى التشريح المجهرى للحاء البصرى الأولى بين القردة العليا والبشر. يطرح Preuss, 2000 ما يميز معمار دماغ البشر إن كان هناك ما يميزه.

(٧) الشريو shrew: حيوان صغير من الثدييات يشبه الفأر (المترجم).

(٨) للاطلاع على المراجع الكمية فيما يتعلق بحجم اللحاء الجديد وكثافته وسمكه، انظر Passingham, 1993؛ Felleman and Van Essen, 1991. تأتى الإشارة التشريحية عن العدد الثابت للخلايا تحت ١مم٢ من اللحاء من Rockel, Hiorns, and Powell, 1980.

بافتــراض أن كثــافة الحـزمة ٥٠ ألف خليــة فــى كـل مــم٣، والمساحة الكليــة للسطح ٢× ١٠٠٠٠٠ مم٢، والسمك حوالى ٢مم، يحتوى لحاء الإنسان فى المتوسط ما يساوى ٢ بليون خلية عصبية، ٢٠٠ تريليون مشبك (٢ × ١٠ ١٤).

(٩) الميكرو متر um: واحد على مليون من المتر (المترجم).

(١٠) Elston and Rosa, 1997, 1998. ؛Elston, 2000 ؛Elston, Tweedale, and Rosa, 1999

(١١) النسبة الضئيلة مــن المشابك الركبيــة فــى خلايا اللحاء البصرى الأولي مدهشة، إذا وضعنــا فى الاعتبار سهولة استثارة هذه الخلايا العصبية بالمُدْخَل البصرى LeVay and Douglas et la., 1995. Ahned et al., 1994. White, 1989. Gibert.1976 Budd, 1998 يردد هذا الرأى فى التغذية الرجعية من المنطقة البصرية الثانية إلى اللحاء البصرى الأولي؛ تنتمى كمية ضئيلة فقط من المشابك للمحاور الناشئة من مناطق لحائية أخرى (المنطقة البصرية الثانية، والمنطقة الصدغية الوسطى، إلخ).

(١٢) تشمل هذه الحسابات الطرح، وعمليات الفيتو، والتأخير، واللوغـريتمات، إلخ، لكنها لا تقتصر عليها (Koch, 1999) وأيضًا ضبط ابتـداء التزامن والتـذبذب ومداهما (Lytton and Sejnowski.1991)، يراجع McBain and Fishman, 2001 أدبيات الخلايا العصبية البينية اللحائية.

(١٣) فى قـرن آمـون، حـدد Parra, Gulyas and Miles, 1998 ،Freund and Buzaki, 1996 عشرات من أنواع الخلايا الكابحة. للاطلاع على تقدير لعدد الخلايا العصبية فى طبقة سطحية فى اللحاء البصرى الأولي، انظر Sawatari ،Dantzker and Callaway, 2000 and Callaway, 2000. يربو عدد أنـواع الخلايا فى كل منطقـة لحـائية عن ١٠٠ إذا وضعنا فى الاعتبار وضع صفائح جسم الخلية، وشكل تفريعاتها الشجرية ومداها، ومكان امتداد محورها، وخصوصية صفائح مُدْخَلها المشبكى، وما إن كانت مثيرة أم كابحة.

(١٤) فرضية التغطية tiling hypothesis، التى تنص على أن كل نوع من الخلايا ينبغى أن يكون قادرا على أن يمثل فى كل نقطة من الفضاء البصرى مرة على الأقل، افترضها فرنسيس كريك فى ١٩٨٣ (مخطوطة غير منشورة). إذا كان متوسط نصف قطر التفريعات الشجرية القاعدية للخلايا العصبية الهرمية ١٠٠ ميكرومتر، على سبيل المثال، يتطلب الأمر حوالى ٣٢ خلية عصبية هرمية من نوع واحد لتغطية ١مم٢ من اللحاء بالتساوى مرة واحدة. للاطلاع على مناقشة للتغطية، انظر Stevens, 1998.

(١٥) قرب نهاية القرن الثامن عشر، ذكر الإيطالى فرنسيسكو جينارى Gennari رؤية خط أو تخطيط فى المنتصف تقريبا خلال المادة السنجابية فى مؤخر الدماغ. هذا الطوق، المكون من محاور مغطاة بالميلين myelinated من النواة الركبية الجانبية ينتهى فى

الطبقة الرابعة، ينتهى فجأة على الحدود مع المنطقة البصرية الثانية. لأن هذا التخطيط يرى بالعين المجردة، يشار أيضًا للحاء البصرى الأولي باسم اللحاء المخطط striate cortex.

(١٦) يسميه علماء التشريح امتدادًا فى الجانب الآخر contralateral، ويُسمَّى الامتداد على الجانب نفسه من الرأس بالامتداد فى الجانب نفسه ipsilateral.

(١٧) تحتل الدرجات العشر المركزية أكثر قليلا من نصف اللحاء البصرى الأولي. للاطلاع على خصائص خريطة اللحاء البصرى الأولي، انظر Horton and Hoyt (1991a Van Essen et al (2001) ؛Tootell et al. (1998b ؛DeYoe et al (1996)

(١٨) ديفيد هوبل Hubel (١٩٢٦ ـ) : عالم كندى أمريكى. تورستن ويسل Torsten Wiesel (1924): عالم سويدى. حصل الاثنان على نوبل ١٩٨١ (المترجم).

(١٩) الوصف الأصلى للخلايا الموجَّهة فى اللحاء البصرى الأولي، فى بحث استخدم ألف قطب Hubel and Wiesel, 1959. انظر أيضا Livingstone, Hubel and Wiesel,1962

(٢٠) استبطت التقنيات الفيزيائية النفسية البصرية فى الإنسان ـ وخاصة التكيف والتقنع ـ وجود مرشحات انتقائية الاتجاه لها شكل مماثل لتلك المسجلة بالكهروفسيولوجيا وتوجد بمتاييس مكانية مختلفة (Wilson et al., 1990). التقريب الجيد بشكل معقول لصور مجالات استقبال الخلايا البسيطة وظائف مرشح جابور Gabor (نسبة إلى دينيس جابور (١٩٠٠-١٩٧٩): مهندس بريطانى من أصل مجرى، حصل على نوبل فى الفيزياء ١٩٧١- المترجم)، نتاج موجة جوسية Gaussian (نسبة إلى جوس Gauss (١٧٧٧ ـ ١٨٥٥) رياضى ألمانى ـ المترجم) مع موجة جيبية (, .Palmer, Jones and Stepnoski, 1991). يربط كتاب Wandell, 1995 الفيزياء النفسية والكهرو فسيولوجيا، والتصوير بالرنين المغناطيسى الوظيفى والنموذج الحسابى للجهاز البدائى للرؤية.

(٢١) الأدبيات عن تأثيرات مجال الاستقبال غير الكلاسيكى والتعديلات السياقية كثيرة ومتنامية. الأبحاث المهمة Allman, 1985؛ Gallant, Conner and Van Essen, ١٩٩٧؛ Lamme and Spekreijse, 2000. Shapley and Ringach, 2000

(٢٢) الجشتالت Gestalt: نظرية ترى أن المبدأ الإجرائى للدماغ شمولى (المترجم).

(٢٣) افتُرِض أن الحد الأدنى لطول الدائرة يعمل على مستوى الجهاز العصبى كله فى الحيوان متعدد الخلايا الذى درس أكثر من غيره بكثير، الدودة الخطية، C. elegans، التى تحتوى على ٣٠٢ خلية عصبية (Cherniak, 1995). للاطلاع على مقاربة مماثلة للحاء البصرى الأولي، انظر Koulakov and Chklovski, 2001. يلتزم مهندسو الكهرباء بقيود مماثلة حين يهتمون بمكان وضع ملايين الترانزستورات والمكثفات، ومكونات أخرى فى دوائر سيلكون بالغة التعقيد لتقليل الطول الكامل للأسلاك إلى أقصى حد.

(٢٤) اكتشف أعمدة الهيمنة البصرية فى القرد الآسيوى Hubel and Wiesel, 1968 ، ورآها LeVay et al., 1985. فى البشر، هذه الأعمدة عرضها ٨٠٠ ميكرومتر (Horton and Hedley-Whyte, 1984).

(٢٥) باستثناء رقع من الخلايا غير الموجهة فى الطبقتين الثانية والثالثة وفجوة فى انتقاء الاتجاه بين الخلايا العصبية فى طبقة المُدْخَل c٤، تمتد أعمدة الاتجاه فى كل الطبقات (LeVay and Nelson, 1991)

(٢٦) Blasdel, 1992 - : Das and Gilbert, 1997.

(٢٧) Wong-Riley, 1994.

(٢٨) يصف Conway, Hubel ans Livingstome and Hubel, 1984' Michael1978, Livingstone, 2002 الدليل على الخلايا المتضادة فضائيا ولونيا فى اللحاء البصرى الأولي فى القرد. يشكك البعض باستمرار فى اعتبار الخلايا مزدوجة التضاد فئة متميزة (Lennie, 2000).

(٢٩) يقدم Hübener et al., 1997 إجابة واحدة للسؤال عن عدد الخرائط المميزة فى اللحاء، ويطرح Swindale, 2000 الموضوع من منظور تطور اللحاء. انظر أيضًا Dow, 2000.

الفصل الخامس

ما الارتباطات العصبية للوعى؟

يود معظم الناس تحقيق ما يدعونه "الوعى الأعلى". اللافت للنظر أن ذلك الوعى الأعلى، بالنسبة لهم، ليس حالة مجازية، لكنه حالة حرْفية فيزيائية متذبذبة. له واقع يمكن قياسه نظريا باستخدام حذر لمقياس الوعى.

جويل أكنباتش عن "أسير الغرباء" Captured by Aliens(١)

مفهوم الارتباطات العصبية للوعى فاتن لبساطته. ماذا قد يكون أروع من مجموعة خاصة من الخلايا العصبية، تنهمك فى نوع معين من النشاط، تمثل الأساس الفيزيائى للوعى بمُدْرَك أو إحساس معين؟ ثمة فرضية شائعة، قُدِّمتْ فى القسم ٢-٣، وهى أن الارتباطات العصبية للوعى مجموعة فرعية مؤقتة من خلايا عصبية معينة فى الجهاز اللحائى المهادى cortico-thalamic تأججها متزامن. ومع ذلك تتضح بفحص أدق أمور كثيرة دقيقة ومعقدة.

الدماغ كله كافٍ للوعى ـ يحدد الأحاسيس الواعية يوميا. لكن تماهى الدماغ كله مع الارتباطات العصبية للوعى ليس مفيدًا؛ لأن من المرجح أن مجموعة فرعية من مادة الدماغ تفعل ذلك. أهتم بأصغر مجموعة من الخلايا العصبية مسئولة عن مُدْرَك معين.

ما الشروط الأساسية المطلوبة ليعبر الدماغ عن الوعى بمحتوى؟ هل تساعد دراسة الانفعال أو التخدير فى اكتشاف الارتباطات العصبية للوعى؟ هل هناك

أشياء مشتركة بين الارتباطات العصبية للوعى لرؤية وجه، وسماع حرف C بنبرة عالية، والتألم من وجع الأسنان؟ ما مدى التداخل بين الارتباطات العصبية للوعى برؤية شىء، أو تذكره، أو الحلم به؟ ما مدى خصوصية الارتباطات العصبية للوعى؟ تُطرَح هذه الأسئلة الشائكة فى هذا الفصل.[٢]

٥ ـ ١ عوامل التمكين اللازمة للوعى

يلزم عدد هائل من العمليات لحدوث الوعى. ومن المهم التمييز فى تناول الارتباطات العصبية للوعى بين **عوامل التمكين والعوامل الخاصة**.

عوامل التمكين شروط وأجهزة مقوية مطلوبة لحدوث أى شكل من الوعى عمومًا، والعوامل الخاصة مطلوبة للوعى بمُدْرَك معين، مثل رؤية السماء المتألقة الشاهقة المرصعة بالنجوم فى الليل. ربما تتحدى بعض الأحداث العصبية مثل هذه الثنائية، معدِّلة بدلا من ذلك درجة الوعى. يكفى الآن هذا المخطط البسيط.

يجادل بعض الخبراء بشأن الحاجة إلى التمييز بين محتوى الوعى، من ناحية، "وخاصية وجود الوعى" أو "الوعى بحد ذاته"، من ناحية أخرى.[٣] ويرتبط هذا التمييز بتصنيفى مباشرة.

تتطلب القدرة على الوعى بأى شىء شروطًا عصبية للتمكين. ينبغى أن تكون طريقة عملها أشمل وأكثر استمرارية لأى مُدْرَك من الارتباطات العصبية للوعى، وهى موضعية وغريبة، سريعة الظهور والاختفاء. دون الشروط العصبية المناسبة للتمكين فى المكان المناسب، ربما يتصرف الكائن بفجاجة، لكنه يفعل ذلك دون وعى (نناقش فى الفصل الثالث عشر بضع حالات مرَضية يمكن أن يحدث ذلك فيها). بالتعريف، لا يمكن أن تتكون ارتباطات عصبية للوعى دون الشروط العصبية للتمكين.

هل يمكن تعى دون أن تعى شيئًا خاصا؟ أى هل يمكن وجود الشروط العصبية للتمكين دون الارتباطات العصبية للوعى؟ تسعى بعض أنواع التأمل لهذا الشكل من الوعى الخالى من المحتوى.[٤] ويبدو هذا، حاليا، صعب الدراسة بطريقة دقيقة.

ما عوامل التمكين؟ يتطلب الأمر كمية كافية من الدم؛ لأن اللاوعى دونه يأتى فى ثوانٍ.[٥] لا يتضمن هذا أن الوعى مصدره القلب. وبالمثل، يلعب العدد الهائل من خلايا الربط glia فى الدماغ دورًا أيضيا يدعم العضو، لكن هذه الخلايا لا تتمتع بالخصوصية والسرعة المطلوبتين لتسهيل الإدراك مباشرة.

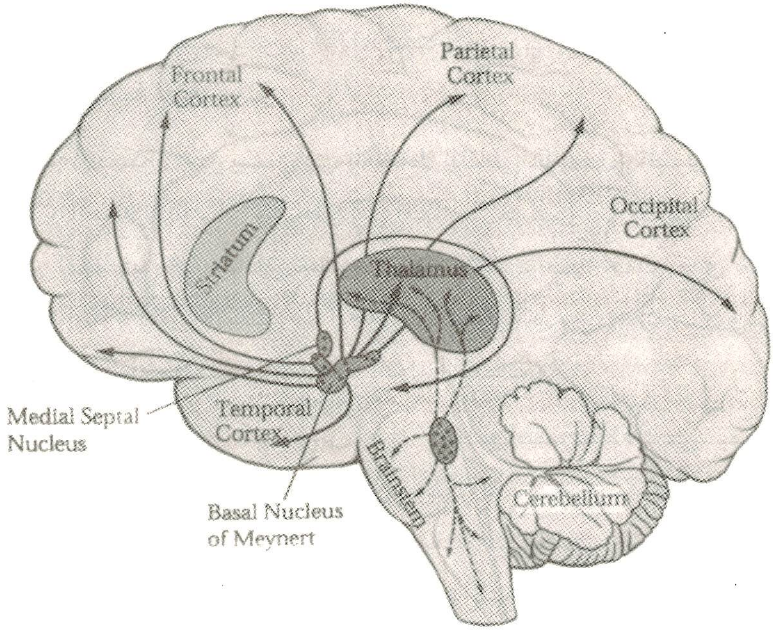
فى سلسلة دراسات بارزة فى أواخر أربعينيات القرن العشرين، أوضح جوسيب مروزى وهوراس ماجون أن منطقة كبيرة من جذع الدماغ معروفة **بالتكوين الشبكى فى الدماغ المتوسط** midbrain or mesencephalic reticular formation تضبط مستوى الاستثارة أو اليقظة فى الحيوانات.[٦] وعُرِف أيضًا باسم **جهاز التنشيط الصاعد** ascending activating system. يستثير تحفيز كهربى مباشر من هذه البنية المعقدة متعددة الأوجه مقدم الدماغ. يتغير رسم المخ الكهربى اللحائى فجأة من موجات بطيئة مرتفعة السعة متزامنة تميز النوم العميق إلى نشاط سريع منخفض الفولت غير متزامن مميز للدماغ اليقظ. تحدث الاستثارة فى غياب تحفيز حسى. تلف التكوين الشبكى فى الدماغ المتوسط على الجانبين- تدمير جانب واحد غير كافٍ عادة- يجعل الحيوان لا يستجيب حتى لتحفيز حسى شديد. فى المرضى، يرتبط تلف هذه المنطقة من الدماغ المتوسط بالخدر أو الغيبوبة.

أفسح مفهوم جهاز تنشيط أحادى المجال لإدراك أن ٤٠ نواة، أو أكثر، شديدة التنوع ببنى خلوية غريبة تستوطن جذع الدماغ (أى النخاع والجسر والدماغ المتوسط). يختلف معمار هذه النوى، مجموعات ثلاثية الأبعاد من الخلايا العصبية لكل منها هوية كيميائية عصبية سائدة، بعمق عن تنظيم طبقات اللحاء. تصنِّع الخلايا فى نوى مختلفة وتخزن وتطلق فى أطرافها المشبكية ناقلات عصبية مختلفة، مثل الأسيتايل كولين والسيروتونين والدوبامين والنور أدرينالين والهيستامين وغيرها. تمتد الخلايا العصبية الفردية فى هذه التجمعات الخلوية على نطاق واسع - لكن ليس بشكل غير متميز - فى جزء كبير من الجهاز العصبى المركزى.[٧] يراقب الكثير من نوى جذع الدماغ ويعدل حالة الكائن، بما فى ذلك الانتقالات بين اليقظة والنوم. إجمالا، تعالج إشارات ترتبط بالوسط الداخلى، بالألم ودرجة الحرارة، والإطار الهيكلى العضلى.

تحتوى البقعة الزرقاء locus coeruleus، وهى كتلة مدمجة من حوالى عشرة آلاف خلية عصبية على كل من جانبى الجسر، على أكثر من نصف كل الخلايا التى تطلق النور أدرينالين فى الدماغ. تنشر الخلايا الزرقاء، لتعوض قلة عددها، معلوماتها على نطاق واسع. يتفرع المحور الواحد بغزارة وربما يصل إلى مناطق كثيرة، تشمل اللحاء الجبهى والمهاد واللحاء البصرى. أثناء نوم الحركات السريعة للعينين، جزء من دورة النوم تحدث فيه معظم الأحلام، تسكن هذه الخلايا النور أدرينالينية، أو تكاد. يرتفع مستوى نشاطها والحيوان يستيقظ ويبرز خاصة فى المواقف التى تتطلب يقظة شديدة وتفاعلات القتال أو الهروب.(٨) ولأن الأحلام القوية التى تميز نوم الحركات السريعة للعينين تُحس بوعى ـ رغم عدم تذكُّرها بوعى عادة ـ فإن نقص دخول النور أدرينالين إلى اللحاء أثناء الأحلام يستبعد احتمال أن يكون النور أدرينالين(٩) جزءا من الشروط العصبية للتمكين.

إذا كان هناك ناقل عصبى واحد حاسم فى الوعى، فلابد أنه الأسيتايل كولين. ويصعب تأكيد هذا الادعاء بقوة؛ لأن الإطلاق المشبكى للأسيتايل كولين، ويسمى الانتقال الكولينى cholinergic، واسع الانتشار، يحدث فى الأطراف البعيدة، حيث تتماس الخلايا العصبية الحركية بالعضلات، وفى المناطق المركزية العميقة فى اللحاء. اعتمادًا على نوع المستقبلات المنغرسة فى غشاء الخلية المستهدفة المستقبلة بعد المشبكية، يمكن أن يحدث إطلاق الأسيتايل كولين زيادة سريعة لوقت قصير فى الجهد الكهربى للغشاء، مما يقربه إلى عتبة تأجج جهد الفعل، أو زيادة حساسية المستقبلات أو خفضها أضعف استثارة الخلية لوقت أطول.(١٠)

ينشأ مساران كولينيان رئيسيان فى جذع الدماغ ومقدم الدماغ القاعدى (الشكل ٥ ـ ١). ترسل خلايا جذع الدماغ امتدادًا صاعدًا إلى المهاد، حيث يسهل إطلاق الأسيتايل كولين ترحيل المعلومات من الأطراف الحسية إلى اللحاء. الخلايا الكولينية إذن فى موضع جيد للتأثير فى اللحاء كله بضبط المهاد. فى المقابل، ترسل الخلايا العصبية فى مقدم الدماغ القاعدى محاورها إلى مجموعة أوسع بكثير من البنى المستهدفة، وتمد المهاد وقرن آمون واللوزة ولحاء المخ بالأعصاب.(١١)



الشكل ٥-١ **جهاز التمكين الكولينى**: النشاط فى مجموعة مميزة من النوى التى تطلق المعدِّل العصبى الأسيتايل كولين عامل تمكين للوعى، جزء من الشروط العصبية للتمكين. هذه الخلايا موضوعة للتأثير على المعالجة فى كل أرجاء اللحاء والمهاد thalamus والعقد القاعدية basal ganglia (ما يسمى مقدم الدماغ). ومع ذلك لا يوجد دليل على أن نشاطها يكفى للوعى بمُدرَك معين. معدل عن .Perry and Young, 2002

تتذبذب الآليات الكولينية مع دورة النوم واليقظة. عمومًا، ترتبط زيادة مستويات النشاط الشوكى فى الخلايا العصبية الكولينية باليقظة أو نوم الحركات السريعة للعينين، وتقل المستويات أثناء نوم الحركات غير السريعة للعينين أو نوم الموجات البطيئة. أخيرًا، ترتبط أمراض عصبية كثيرة تتضمن أعراضها اضطرابات الوعى، مثل مرض باركينسون، ومرض ألزهايمر، وأشكال أخرى من العته، بفقدان انتقائى للخلايا العصبية الكولينية.(١٢)

أستنتج من هذه البيانات المتعددة أن نشاط الخلايا العصبية الكولينية عامل تمكين للوعى، جزء من الشروط العصبية للتمكين. تمنع المستويات غير الكافية من هذا الناقل العصبى تكوين الائتلافات العصبية المسئولة عن الارتباطات العصبية الحقيقية للوعى.

ثمة عامل تمكين آخر يتمثل فى النشاط الكافى لما يسمى **النوى المهادية غير المميزة** nonspecific ـ أى مناطق فى المهاد لا تسهل أية حاسة وتمتد إلى الطبقات السطحية فى مناطق لحائية كثيرة. وتشتهر منها خمس **نوى صفائحية** intralaminar أو أكثر. وتستهدف الخلايا الكولينية فى جذع الدماغ، وهى أيضًا جزء من جهاز التنشيط الصاعد، هذه النوى الصفائحية.

قد يفقد الناس قطعًا كبيرة من لحاء المخ دون فقد عام للوعى. يعيش بضع مئات من المرضى فى حالة جيدة بشكل معقول بنصف واحد فقط من المخ. ومع ذلك يمكن أن يؤدى تلف على الجانبين صغير نسبيا فى النوى الصفائحية المهادية أو أجزاء من جذع الدماغ إلى فقد كامل للوعى.[١٣] لا يستجيب ضحية هذا البؤس، سيئ الحظ، لأى محفزات، مع غياب أى دليل على حياة ذهنية.[١٤]

اعتمادا على حجم التلف وموقعه الدقيق داخل النوى العديدة فى جذع الدماغ، تفسد الأوجه العامة للوعى بأشكال متنوعة. ينقل تلف يتزايد باستمرار المريض من حالة اليقظة فى سلسلة من المتلازمات الإكلينيكية مع عجز معرفى أكثر حدة. هذا المجال من **حالة وعى ضئيل إلى حالة خمود (دائم)** أو **غيبوبة**، حيث لا تبقى حركات وتفاعلات هادفة أو دورة يقظة ونوم، ويمكن فقط رؤية انعكاسات بدائية. تتعلق بالخبرة الذاتية، الغيبوبة بنت عم الموت.[١٥]

لا تتمتع الخلايا العصبية فى جذع الدماغ أو فى النوى الصفائحية بتمثيل صريح ولا تشفر اتجاه محفز أو شكله أو لونه أو صفات حسية خاصة أخرى. تفتقر هذه النوى بالتالى إلى البنية التحتية الأساسية لدعم إدراك المحفز محتوى.[١٦]

دون التأثير الصاعد لجذع الدماغ وخلايا المهاد، لا يعى الكائن شيئًا. إجمالا، تغمر مقدم الدماغ فى إكسير استمرار الحياة، تشكيلة مضبوطة بدقة من الأسيتايل كولين ومواد أخرى أساسية للتوازن والاستثارة ودورة النوم واليقظة. إنها ممكِّنات ولا تقدم محتوى. تلك وظيفة اللحاء والمهاد.

٥ ـ ٢ الانفعالات وتعديل الوعى

نجح أنطونيو داماسيو Damasio فى التوصل إلى أن الوعى الممتد ـ أوجه الوعى التى تولد إحساسًا بوجود مالك ومراقب داخل الدماغ ـ ينشأ، بالضرورة، فى خلفية حاسمة للمعلومات من الجسم الذى تستوطنه. يقترح داماسيو أن الوعى الممتد يتوقف دون الإحساس بالوضع، والأحاسيس الباطنية والأحاسيس الجسدية الأخرى التى تخبر الدماغ باستمرار عن حالة الجسم. والانفعالات أيضًا. ويبرهن على أن الإحساس بالذات يتطلب الانفعالات، بإهمالها تصبح دراسة الوعى خاوية وبلا جدوى.(١٧)

لا شك فى أن الحالات المزاجية تؤثر بشكل درامى فى حيوات البشر وسلوكهم، كما فى حالة الغضب أو الحزن. واضطرابات المزاج مسئولة عن معاناة هائلة فى شكل اكتئاب وأرق وقلق واغتراب وحالات أخرى سيئة تفترس البشر. الحالات المزاجية والانفعالات أساسية لاستمرار الحياة وتلوين رؤية العالم.

بشكل أكثر عمومية، تتخلل استجاباتُ التقييم، كما فى "أوه، يبدو ذلك جيدا"، "أف، يا له من مثير للاشمئزاز"، "آه، إنه خطير"، التفكير اليومى. وبالتالى يتطلب الأمر من علم كامل للوعى تفسير عوامل التقييم وكيفية تأثيرها على الإدراك الواعى والارتباطات العصبية للوعى المسئولة عنه.

اخترْتُ أنا وفرنسيس تحديد مجال بحثنا بالتركيز على أوجه الوعى التى يمكن التوصل إليها بتجارب يمكن معالجتها بسهولة فى المختبر. وإذا وضعنا التكنولوجيا المعاصرة فى الاعتبار، فمن الصعب إلى حد ما دراسة الحالات المزاجية والانفعالات– باستثناء وحيد وهو الخوف ـ على مستوى خلية عصبية واحدة. على سبيل المثال، يعتقد الشعراء ومؤلفو الأغانى أن الألوان تبدو أكثر سطوعًا وتوهجا حين يقعون فى الحب. حتى إذا كان من الممكن التحقق من ذلك

فى الطلاب الجامعيين الولهانين، يبدو التوصل إلى نموذج حيوانى لفحص كيف تنظم الحالات المزاجية الاستجابات المهادية اللحائية للمحفزات الحسية خادعًا إلى حد ما ـ لكن ليس مستحيلا.

وأنت حزين أو سعيد أو غضبان، قد يكون للأحداث والمُدْرَكات معانٍ مختلفة. لكن يبقى الفيلم فى دماغك؛ تستمر فى رؤية العالم بالحركة واللون والعمق، إلخ. فى الشروط المعملية، حين تشاهد طالبة جامعية ضجرة بعض الشىء صورًا تومض على شاشة، يمكن أن تعيها تماما فى غياب انفعال قوى. وبشكل مماثل، يبقى المرضى الذين فقدوا كثيرًا من الخبرة الانفعالية والوجدانية ـ نتيجة تلف فى الفص الجبهى ـ ويظهرون لا مبالاة تامة بورطتهم الطبية الفظيعة غالبا، فى حالة وعى. يمكنهم رؤية الألوان وسماع النغمات ولديهم، عمومًا، بشكل لافت عيوب قليلة فى طريقة فهم العالم.

على تعليق كامل عن الأساس العصبى للوعى تفسير كيف تساعد الانفعالات والحالات المزاجية وحالات التقييم على تكوين آليات الائتلاف (أو الائتلافات) العصبى الكافى للإدراك الواعى، وتشكيلها. أتجاهل متعمِّدًا هذه الاعتبارات المهمة حاليا؛ لأن تركيزى ينصبُّ على أوجه للوعى اختبارها أسهل.

٥ ـ ٣ التخدير والوعى

كل سنة، يغلق ملايين الناس وعيهم ويشغِّلونه مرة أخرى بشكل آمن وغير مؤلم وقابل للعكس حين يُخدَّرون لتدخُّل جراحى.[١٨] وجدت عقاقير التخدير منذ حوالى ١٥٠ سنة. ومن المؤكد أننا يمكن أن نعرف شيئًا عن الارتباطات العصبية للوعى بدراستها.

عقاقير التخدير الكلى مجموعة متنوعة من المواد الكيميائية، تتراوح من الغازات الخاملة مثل الزينون، إلى أوكسيد النيتروز ("غاز الضحك")، والكلوروفورم، والإثير ثنائى الإيثايل، والفنسيكليدين، والبربتيوريت، والمواد الكولينية، وأشباه الأفيون. يقدم علماء التخدير المعاصرون خليطًا من العقاقير لتحقيق النتائج المنشودة. وتشمل المواد الشالة الشبيهة بالكورير لإحداث ارتخاء

فى العضلات لتدخل جراحى مناسب وإعاقة حركة المريض؛ ومواد للتحكم فى الاستجابات التلقائية (على سبيل المثال، استقرار ضغط الدم)، والتخلص من الألم والذكريات؛ والبنزوديازبين لتهدئة المريض وإحداث النسيان. بمثل هذا المزيج، يدخل المرضى عادة فى نوم آمن، وتجرى لهم العمليات، وينهضون دون أن يتذكروا شيئًا.

من المعتاد تصديق أن عقاقير التخدير الكلى تتداخل عمومًا مع المكونات ثنائية الدهون فى أغشية الخلايا. ومع ذلك، توحى التجارب بنظائر بصرية لهذه الجزيئات ـ مواد ثلاثية الأبعاد بالتركيب الكيميائى ذاته بنيتها متماثلة انعكاسيا ـ توحى بقوة بأن عقاقير التخدير الكلى ترتبط بالبروتينات مباشرة. أهدافها الأكثر شيوعًا هى القنوات الأيونية المعتمدة على الناقلات العصبية فى المشابك. تدعم معظم عقاقير التخدير قوة المشابك الكابحة. وإذا وضعنا فى الاعتبار أنها واسعة الانتشار فى الجهاز العصبى، كان من الصعب عزل منطقة معينة من الدماغ "تضربها" عقاقير التخدير.

يوجد عقاران تفكيكيان يحقنان فى الأوردة،[١٩] كيتامين والفينسيكليدين، لا يرتبطان بالمشابك الكابحة، ويستهدفان بدلا من ذلك مستقبلات ن ـ ميثايل ـ د ـ أسبرتيت (N-methyl-D-aspartateنمدا NMDA) المرتبطة بالمشابك المثيرة التى تستخدم الجلوتاميت بين خلية عصبية وأخرى. تتورط مشابك النمدا فى التعديل طويل المدى للارتباطات المشبكية فى الخلايا العصبية المسئولة عن التعليم والذاكرة. بجرعات صغيرة، يحدث الكيتامين والفينسيكليدين هلاوس وتشوهات فى صورة الجسم، وأفكارا مشوشة. وبجرعات كبيرة يخدران. افترض عالم العقاقير، الألمانى هانز فلوهر Flohr أن الخصائص المميزة لمشابك النمدا، وخاصة ميلها لتقوية الروابط بين الخلايا العصبية التى تنشط متزامنة، تلعب دورًا حيويا فى تجميع ائتلافات الخلايا العصبية اللازمة للوعى. يفترض فلوهر أن الكبح الكامل للعمليات المعتمدة على النمدا يمنع تشكيل تجمعات الخلايا العصبية، مما يسبب فقدان الوعى، كما فى التخدير، ويؤدى الكبح الجزئى إلى تغير حالات الوعى، كما فى الحالات الذهانية.

ربما أصاب فلوهر أيضًا فى أن الوعى يتوقف دون تنشيط مستقبلات النمدا. ويمكن قول الشىء نفسه عن المشابك الأخرى الحساسة للجلوتاميت. إضافة إلى ذلك، توجد مشابك النمدا فى كل أجزاء الدماغ، وتؤثر إعاقتها على عدد هائل من العمليات، بما فى ذلك توصيل المعلومات الحسية إلى الأنساق العليا من التدرج الهرمى اللحائى. مشابك النمدا النشطة من الشروط العصبية الكثيرة للتمكين من ظهور الائتلاف الفائز وتمثيله بوعى.[٢٠]

وكثيرا ما يُنسَى أن الوصف الكهروفسيولوجى لخلايا الأعصاب يعتمد بشكل قاطع لسنوات على حيوانات مخدَّرة. وقد وُصِفتْ الخلايا العصبية البصرية الانتقائية فى اللحاء البصرى الأولي - مثل تلك التى تستجيب للحافات المتحركة (الشكل ٤ - ٣) - أول مرة فى قرود مخدرة. لم يحسِّن علماء الأعصاب التقنيات اللازمة لمتابعة الخلايا العصبية بشكل روتينى فى حيوانات مدرَّبة على تركيز النظر، أو سحب رافعة، أو ضغط زر إلا فى الستينيات والسبعينيات من القرن العشرين.[٢١] تفند استجابة الخلايا العصبية تحت التخدير الفرضية الساذجة بأن نشاط الدماغ يتوقف تماما بتخدير الحيوان أو المريض.

إذن، ما الاختلاف الذى يحدثه التخدير فى الدماغ؟ ما الاختلاف بين خصائص مجال استقبال الخلايا العصبية المسجلة فى قرد مخدر (تُفتَح عيناه بدعامة) وخصائصها فى حيوان يقظ ومنتبه؟[٢٢] توحى حفنة تجارب متصلة بالموضوع بتأجج خلايا اللحاء فى الحيوانات المخدرة بشكل أقل قوة وانتقائية، وبافتقارها إلى بعض خصائص مجال استقبالها السياقى وغير الكلاسيكى. وتتضاعف هذه التأثيرات كلما ارتفعنا فى التدرج الهرمى اللحائى، مما يؤدى إلى استجابات عصبية أضعف وأبطأ وأقل خصوصية فى المراحل العليا من اللحاء.[٢٣]

تحمستُ فى البداية لفكرة أن القدرة على تشغيل الوعى وإيقافه بأمان وسرعة وبشكل عكسى تقدم بصيرة حاسمة بالارتباطات العصبية للوعى. لم يولد هذا الأمل. ثبت، حتى الآن، أن عقاقير التخدير المرتبطة ببروتينات المستقبلات والقنوات فى معظم أجزاء الدماغ أداة باردة جدا بدرجة لا تفيد فى بحثنا، لكن ذلك قد يتغير مستقبلا.[٢٤]

٥ ـ ٤ استراتيجية عامة لتحديد

الارتباطات العصبية للوعى

دعنى أقسِّم مختلف فئات النشاط العصبى فى علاقتها بالوعى (الجدول ٥ ـ ١). الأشكال الخمسة المذكورة ليست قاطعة. على سبيل المثال، لا تساهم جهود الفعل فى الشبكية مباشرة فى الوعى (الصف الأول)، لكنها تسبق الارتباطات العصبية فى الإدراك البصرى (الصف الثالث). والخلايا العصبية فى اللحاء الصدغى السفلى ضمن أكثر المرشحين حظوظًا للارتباطات العصبية برؤية الأشياء (الفصل ١٦)، لكن تفريغها الشوكى لا يكفى للوعى.

الجدول ٥ ـ ١: أشكال مختلفة من النشاط العصبى والحالات الظاهرية المناظرة لها

النشاط العصبى	مثال	الحالة الذهنية
نشاط غير واعٍ تماما	المراحل العميقة من نوم الموجات البطيئة	لا وعى
نشاط تغذية أمامية تسهل السلوكيات الحركية الحسية النمطية	النشاط المسئول عن حركات العين، وضبط الوضع	لا وعى
الأنشطة التى تسبق الارتباطات العصبية للوعى وتتبعها	نشاط الشبكية والحبل الشوكى	لا وعى
ائتلاف مؤقت	نشاط لحائى يرتبط بأحداث غير متعمدة	وعى سريع الزوال
ائتلاف مستمر للخلايا فى المناطق الحسية العليا والمناطق الجبهية (الارتباطات العصبية الحقيقية للوعى)	نشاط متزامن بين اللحاء الصدغى السفلى ولحاء مقدم الفص الجبهى	وعى إدراكى

يدعم شكلان فقط المحتوى الظاهرى (الصفان السفليان). يعتمد الاثنان على ائتلافات الخلايا العصبية؛ إذا كان المحفِّز لوقت قصير جدا أو لا يستفيد من انتقاء الانتباه، يتبخر الائتلاف سريعًا ويكون الوعى سريع الزوال (الفصل ٩). يركز هذا الكتاب أساسًا على الأشكال الأكثر استمرارية للشعور الإدراكى أو الوعى، حيث تسهل دراستها وتناولها فى المختبر.[٢٥]

أقدم الآن بعض العوامل الخاصة المسئولة عن مُدْرَك معين، الارتباطات العصبية للوعى. ما أهمية مفهوم أصغر مجموعة أحداث عصبية تكفى مشتركة لخبرة شعورية معينة (واضعين فى الاعتبار الشروط المناسبة للتمكين)؟.[٢٦]

فرضيتى الأساسية أن الارتباطات العصبية للوعى فى أية لحظة تناظر نشاط ائتلاف خلايا عصبية فى اللحاء والمهاد والبنى المتحالفة معها بقوة. ما الطبيعة الدقيقة لهذا "النشاط"؟ ما الذى يؤدى إلى إنتاجه؟ كم يستمر؟ ما تأثيره على أجزاء أخرى من الدماغ؟[٢٧] إضافة إلى ذلك، ما الخلايا العصبية (فى وقت معين) التى تشكل هذا الائتلاف؟ هل هى أنواع عصبية معينة فقط؟ هل تتكون المجموعة من مجموعات فرعية؟ وإذا كان الوضع كذلك، ما عدد المجموعات الفرعية تقريبا وما عدد الخلايا العصبية فى مجموعة عصبية معينة؟ ما المشترك بين أعضاء مجموعة فرعية واحدة؟ كيف ترتبط المجموعات الفرعية؟

ثمة استراتيجية مختلفة تتمثل فى السؤال عن الكيفية التى يتغير بها هذا الائتلاف النشط حين يتغير المُدْرَك. بشكل خاص، هل هناك أنواع من الخلايا العصبية لا تشكل أبدًا جزءًا من مجموعة؟ أو، بشكل بديل، هل يمكن لكل نوع من الخلايا العصبية فى الدماغ - أو بشكل مقبول أكثر، كل نوع من الخلايا العصبية فى لحاء المخ والنوى المهادية المتصلة به - أن يشكل جزءًا من الارتباطات العصبية للوعى؟

يعرض جزء من فرضياتنا العملية فى الفصل الثانى. أفترض أنا وفرنسيس أن الارتباطات العصبية للوعى تتأسس على تمثيل عصبى صريح وأن أصغر مجموعة خلايا عصبية يمكن أن تكون مسئولة بشكل مفيد عن هذا التمثيل تتكون من خلايا (ربما خلايا هرمية) من نوع واحد - وهكذا تمتد كلها بطريقة

مماثلة إلى المنطقة ذاتها تقريبا ـ توضع قرب بعضها تماما فى عمود لحائى وأى مواضع مناظرة فى بنى تحت لحائية sub-cortical. تشترك معظم خلايا العمود فى خاصية مشتركة، مثل اتجاه محيط موضعى، اتجاه الحركة، عمق الرنين، إلخ، وتعبر عنها بطرق مختلفة إلى حد ما، اعتمادا على الاستخدام الذى توضع له هذه المعلومات فى المواضع المستهدفة.

لا يوحى هذا بأن الارتباطات العصبية للوعى يُعبَّر عنها فى أى عمود بنوع واحد من الخلايا العصبية. على العكس، يحتمل فى أية رقعة لحائية أن تتراكم الأنواع المتعددة من خلايا الامتداد، المعبرة عن الارتباطات العصبية للوعى، بشكل فج، واحدة فوق الأخرى. تنشر مختلف أنواع الخلايا معلوماتها فى مناطق أخرى كثيرة من اللحاء. كما يؤكد عالم المعرفة برنارد بارس Baars فى نموذج **مكان العمل العام** global workspace للوعى، تميل المعلومات فى الارتباطات العصبية للوعى إلى التناثر عبر اللحاء.[٢٨] أى إن الارتباطات العصبية للوعى تنثر المعلومات على نطاق واسع. وحيث إن النوع الواحد من الخلايا الهرمية لا يمتد إلى مواضع كثيرة منفصلة، يحتمل أن تتضمن الارتباطات العصبية للوعى فى موضع واحد أكثر من نوع من الخلايا العصبية.

هل الارتباطات العصبية للوعى لا تتغير باختلاف أنواع المُدْرَكات؟

إذا وضعنا فى الاعتبار تخصص مناطق اللحاء، فإن الارتباطات العصبية للوعى باللون تختلف عن الارتباطات العصبية للوعى بالحركة أو الوجوه. لا يشمل اختلاف الخلايا العصبية التى تتوسط هذه المدركات الأعضاء أنفسهم (على سبيل المثال، تتضمن رؤية اللون خلايا اللحاء البصرى الأولي، ونناقشها أكثر فى الفصل الثامن، ويتضمن إدراك الحركة خلايا فى مناطق لحائية مختلفة). ابتكر زكى المصطلح الجديد بالذكر **الوعى المجهرى** microconsciousness للتأكيد أن الارتباطات العصبية للوعى فى عقدة أساسية لصفة معينة، ولتكن اللون مثلا، يمكن أن تكون مستقلة عن الارتباطات العصبية للوعى فى عقدة أساسية أخرى لصفة أخرى، ولتكن الحركة مثلا.[٢٩]

وقد يوجد أيضًا تداخل فى العضوية، على سبيل المثال فى مقدمة الدماغ. أى إن الائتلافات التى تتوسط مختلف أشكال الوعى المجهرى ربما تشترك كلها فى بعض الخلايا العصبية. كما أناقش فى الفصلين الرابع عشر والخامس عشر، ربما تكون هذه الخلايا العصبية المشتركة، بشكل خاص، فى مقدمة الدماغ. إضافة إلى ذلك، تشترك خلايا الارتباطات العصبية للوعى فى العقد الأساسية المتنوعة للون والحركة والوجوه، إلخ، فى خاصية أو أكثر، مثل أنماط امتداد محاورها، أو ميلها للتأجج فى اندفاعات جهود الفعل.

كيف ترتبط الارتباطات العصبية للوعى بوجه بالارتباطات العصبية للوعى بتذكر هذا الوجه؟ تظهر تسجيلات الخلية المفردة فى الخلايا اللحائية العصبية المكتشفة فى المرضى أنها تتأجج انتقائيا لمشاهدة صور خاصة، لتكن حيوانات مثلا، وللصور الذهنية للصور نفسها عند استعادتها من الذاكرة. تأججت إحدى هذه الخلايا لصورة المغنى بول مكارتنى،[٣٠] ولم تبالِ بصور أناس آخرين ومنازل وحيوانات، إلخ. لوحظت الانتقائية ذاتها أثناء التخيل. تتنبأ سعة استجابة الخلية العصبية للمحفز الحقيقى بسلوكها أثناء التذكر. ويمكن تصور أن الارتباطات العصبية للوعى بالتخيل تتداخل مع الارتباطات العصبية للوعى بالإدراك البصرى العادى أو تشكل مجموعة فرعية منها (انظر القسم ١٨ ـ ٣).

ماذا تشبه الارتباطات العصبية للوعى بالحلم؟ تبدو الأحلام حقيقية وهى تحدث ـ حقيقية مثل الحياة ذاتها. هل يوحى هذا بأن ائتلاف الخلايا العصبية الذى يتوسط مُدْرَك "الأم" وهى تقف أمامك يرتبط بشدة بالائتلاف الذى ينشط وأنت تحلم بها؟ ويبدو هذا معقولا تمامًا، باستثناء المناطق اللحائية البدائية، مثل اللحاء البصرى الأولي، وهى أقل نشاطًا أثناء الحلم.[٣١]

يسعى العلماء للتأثير فى الارتباطات العصبية للوعى بإثارة نشاط الدماغ بشكل اصطناعى مباشر بمساعدة **التحفيز المغناطيسى عبر الجمجمة**. وهى طريقة غير مؤذية لوخز النسيج العصبى بتوليد مجال مغناطيسى قوى لبرهة عن طريق سلك خارج الجمجمة مباشرة. [٣٢]

يصبح تفسير اتساع مجال الائتلافات التى يكون الإدراك الواعى ممكنا فى ظلها أكثر صعوبة بميل الخلايا العصبية للارتباط بتجمعات مختلفة. أعضاء

ائتلاف لتوليد مُدْرَك واحد، فى ظل ظروف مختلفة، ربما يكونون أعضاء ائتلاف آخر مسئول عن مُدْرَك مختلف. أو، ربما يدعمون سلوكا حركيا بصريا سريعًا لا يرتبط بالوعى بأى مدرك (انظر الفصل الثانى عشر). أخيرًا، يجب وضع كل هذه المضاعفات فى الاعتبار.

ارتباط خصائص خلية واحدة بالارتباطات العصبية للوعى

غاية برنامج بحثى ربط الخصائص الجزيئية والفيزيائية الحيوية لائتلافات الخلايا العصبية للوعى بالمحفز. فى النهاية، يجب ربط نشاطها المتأجج بسلوك الشخص على أساس محاولة لمحاولة. افترضْ، على سبيل المثال، أننى أتابع خلية "ماكرتنى" التى سبق ذكرها. أتوقعُ فشل المريض فى رؤية الصورة التى تومض برهة قصيرة، صورة البيتل Beatle السابق فى محاولة تنعكس فى معدل تأجج منخفض أو تزامن متضائل للشوكات مع الخلايا الأخرى فى تلك المحاولة. بالطبع، تأجج هذه الخلية العصبية "بلا معنى" بكل معنى الكلمة لبقية الجهاز إلا إذا ارتبط بعقد أساسية أخرى كثيرة (القسم ١٤ ـ ٥).

بمجرد تحديد موضع الارتباطات العصبية للوعى لفئة من المُدْرَكات، يمكن معالجتها وراثيا فى القوارض، يمكن اقتفاؤها فى الرُّضَّع لدراسة بداية مختلف مراحل الوعى، يمكن ملاحظتها فى مرضى التوحد أو الفصام، إلخ.

يتطلب الأمر تجارب أكثر دقة لتجاوز الارتباط بالعلِّيَّة causation. إذا سبب الحدث "أ" الحدث "ب"، ينبغى إذن أن يسبق الحدثُ "أ" الحدثَ "ب" وينبغى لمنع "أ" استبعاد "ب" (إلا إذا كان هناك سبب آخر للحدث "ب"). معرفة التوقيت الدقيق للأحداث التى تؤدى إلى الارتباطات العصبية للوعى مفيد هنا، وأيضًا التدخل الانتقائى مع الآليات السابقة. يمكن إجراء تجارب أخرى كثيرة لتوضيح العلاقة العلية بين الأحداث العصبية والوعى بالمُدْرَكات. ينبغى أن تحدث استثارة اصطناعية للخلايا العصبية المرشحة للارتباطات العصبية للوعى مُدْرَكًا مماثلا لما يحدث بالتحفيز الطبيعى. إذا صمتت خلايا الارتباطات العصبية للوعى، على سبيل المثال، بإعاقة مستقبلاتها المشبكية، فينبغى توقف

المُدْرَك. يمكن تكرار عملية الإسكات ذاتها فى اتجاه تيار الارتباطات العصبية للوعى، إلخ.

يصعب غالبًا الكشف بإحكام عن غموض السبب والتأثير فى شبكات التغذية الرجعية المتكاملة. يمكن عمل تماثل جزئى مع سلوك الجماهير. من يستطيع تحديد حدث معين أو أشخاص فى حشد من الجماهير الغاضبة دفع إلى الشغب الذى اندلع؟ المعارض الذى ألقى بأول حجر؟ لكن ألم يشجعه صياح جيرانه؟ وهل كان حادث إلقاء الحجر مسئولا عن إطلاق النار الذى تلاه؟ هل هذا مثال للسلوك المنظم ذاتيا لجالية كاملة لا يمكن تحليله بسهولة فى مستوى شخص واحد؟ ربما. هل حرض على الشغب بضعة عملاء محرضين يشجعون على العنف باستمرار؟

٥ ـ ٥ الخصوصية العصبية والارتباطات العصبية للوعى

نسترشد أنا وفرنسيس فى بحثنا عن الارتباطات العصبية للوعى بحدس بأن الارتباطات العصبية للوعى تشمل آليات بيولوجية معينة. [٣٣] لأشرح ما أعنيه.

ثمة طباق شديد مع الخصوصية العصبية يتمثل فى فرضية أن كل خلية عصبية تشارك إلى حد ما فى الارتباطات العصبية للوعى. وطبقًا لهذه الفرضية، الوعى خاصية تنبثق عن الجهاز العصبى كله لا يمكن تحديدها فى مجموعات فرعية معينة من الخلايا العصبية. وتنبثق هذه المقاربة الشمولية المنبثقة عن الاعتقاد بأن المدركات القصيرة الحادة الشديدة ـ الأحمر العميق لغروب الشمس والمعنى المرتبط به ـ لا يمكن أن تنبثق من نشاط عصبى لمجموعة صغيرة معينة من الخلايا العصبية. بدلا من ذلك، يتطلب الأمر تفاعلات جمعية شبيهة بالجشتالت لملايين وملايين الخلايا العصبية من أجل الوعى بمُدْرَك. يوجد نفور عميق من فكرة مسئولية الآليات الخاصة عن ثراء الوعى وجلائه. [٣٤]

يؤكد عالم البيولوجيا الجزيئية والعصبية جيرالد إدلمان Edelman فى معهد سكريبز Scripps للأبحاث فى لا جولا، كاليفورنيا، وزميله الطبيب النفسى وعالم الأعصاب جيوليو تونونى Tononi، ويعمل الآن فى جامعة ويسكنسين

Wisconsin، على هذا الوجه الكلى للوعى. يبرهنان على أن عددا كبيرا من الحالات الكامنة التى يمكن أن يصل إليها العقل بوعى تتطلب التفاعل المترابط بشدة لعدد كبير جدا من التجمعات العصبية تصل بوضوح عبر الدماغ. ربما تكون هذه الأفكار على المسار الصحيح. (٣٥) توحى هذه الشكوكية بأن بحثى قد يكون دون كيخوتى ـ محكومًا عليه بالفشل.

تفشل المقاربات الشمولية للوعى، رغم ذلك، فى تفسير لماذا تولِّد بعض أنواع النشاط واسع الانتشار فى الدماغ سلوكيات ترتبط بالوعى ولا تولدها أنواعٌ أخرى. أين يكمن الاختلاف بين الاثنين؟ لنأخذ العمى الناتج عن الحركة، المذكور فى الفصل الأول. كيف يمكن لمقاربة كلية تفسير لماذا ترى أحيانًا البقع الصفراء، وتتلاشى بعد كسر من الثانية؟ كيف يمكن لهذه النظريات الكلية تفسير حقيقة أن النشاط القوى فى بعض مناطق اللحاء ليس ضمانا لإمكانية الوصول للوعى (الفصل ١٦)؟

من التقليدى لرأى منهجى وعملى إذا كانت الخلايا العصبية للارتباطات العصبية للوعى تشترك فى مجموعة مميزة من السمات، من قبيل الترابط المشبكى القوى فيما بينها، أن يتناول خاصية خلوية متميزة. هذه الخصوصية تمدُّ التجريبيين ـ وخاصة علماء البيولوجيا الجزيئية ـ باستراتيجيات للتدخل بتروٍّ ودقة مع محفز الوعى بتشغيل مؤقت بشكل يمكن عكسه لهذه الخلايا العصبية للارتباطات العصبية للوعى أو إيقافها.

بالطبع، ليس هناك ما يضمن بساطة هذه الطبيعة؛ قد تفشل المقاربات الموضعية. لكن من المناسب أن نتعقب أولا الفرضيات المباشرة التى يؤيدها هذا الكتاب.

ثمة درس عام من علم الأحياء وهو أن الكائنات تطور أدوات معينة ـ معدات ذات طبيعة رائعة وغريبة ـ يمكن أن تُرفَض على أساس اعتقاد بديهى بقوة مصممٍّ ذكى. وتبين هذا بشكل مذهل فى البيولوجيا الجزيئية. تدين الجزيئات الكبيرة ذات السلاسل الطويلة مثل البروتينات بتنوعها الوظيفى لأشكالها الجزيئية الخاصة أحادية البعد. يحدد هذا التمثيل الخطى وظيفتها. لا تفيد بشكل خاص معظم خصائصها أو سلوكها حين تُعلَّق فى محاليل غروية فى فهم العمليات التى تحدث داخل الكائنات الحية.(٣٦)

تتجلى الخصوصية الجزيئية المذهلة للبروتينات حتى على المستوى السلوكى. أكثر من نصف الرجال بقليل لديهم جين للصبغة البصرية فى المستقبلات الضوئية المخروطية الحساسة للموجات الطويلة التى تشفر السيرين serine فى الموضع المائة والثمانين 180^{th}، ولدى رجال آخرين الحمض الأمينى الانين ala nine فى ذلك الموضع. ويتجلى هذا الاختلاف الضئيل على المستوى الجزيئى فى إدراك تدرج اللون عند فحص رجال على أساس أدائهم عند تمييز ألوان محمرة.[٢٧]

لماذا ينبغى أن تكون الخلايا العصبية أقل خصوصية من البروتينات؟ تشكلت الخلايا العصبية، مثل الجزىء الحيوى، بقوى غامضة للانتخاب الطبيعى على مدار مئات الملايين من السنوات، مما أدى إلى تنوع يتعذر فهمه فى شكلها وتكوينها ووظيفتها. ويحتمل أن ينعكس ذلك فى خصوصية الارتباطات العصبية للوعى. ومن ثم أتطلعُ إلى آليات خاصة تؤثر فى خصائص الائتلافات العصبية التى تناظر صفات المُدْرَكات الشعورية. ربما يكون أحد الاحتمالات مجموعات صغيرة من الخلايا الهرمية اللحائية التى تستقبل معلومات مشبكية مثيرة قوية من مجموعة أخرى من الخلايا العصبية مباشرة فى أجسام الخلايا بشكل تبادلى. ربما يمثل هذا الترتيب حلقة، مجموعة خلايا عصبية، بمجرد إطلاقها تظل متأججة حتى يكبحها نشاط ائتلاف آخر من الخلايا العصبية. ربما تكون ديناميكيات تأجج هذه المجموعة قريبة من ديناميكيات تأجج الوعى، فى كسر من الثانية، لا على مقياس لجهود فعل فردية بالملى ثانية.[٢٨]

ثمة تواز هشٌّ، يوحى لى به عالم البيولوجيا الجزيئية ديفيد أندرسون Anderson، بين الارتباطات العصبية للوعى ووظيفة أى بروتين. تتحدد خصوصيته الوظيفية بترتيبه ثلاثى الأبعاد. ينبثق شكل الجزىء من الطريقة التى تلتف وتنطوى بها سلسلة أحادية البعد من الأحماض الأمينية (فى محلول مائى) بطريقة تتحدى عمومًا أى تحليل موضعى. لكن لا يساهم كل حمض أمينى من مئات الأحماض الأمينية التى تكون بروتينا نموذجيا بالقدر ذاته. استبدال حمض أمينى واحد أو سلسلة صغيرة متقاربة من الأحماض الأمينية فى موضع استراتيجى فى السلسلة قد يؤثر جذريا فى شكل البروتين ويدمر وظيفته.

الامتدادات القصيرة من الأحماض الأمينية التى تؤدى إلى موتيفة بنيوية ـ مثل لوالب ألفا أو ألواح بيتا ـ[٣٩] لها تأثير حاسم على البنية النهائية ثلاثية الأبعاد، بينما امتدادات السلاسل المتداخلة الأقل تنظيمًا قد تؤثر فى الشكل النهائى فقط بطرق دقيقة أو ضئيلة نسبيا. الخصائص الموضعية مفتاح تفسير جزء كبير من وظيفة البروتين. يمكن الاحتفاظ بالدرس نفسه للارتباطات العصبية للوعى.

٥ ـ ٦ الملخص

يركز هذا الفصل على تعريفى للارتباطات العصبية للوعى باعتبارها أقل أحداث عصبية تكفى معا للوعى بمُدْرَك معين.

تعتمد القدرة على الإحساس بشىء على التنظيم المستمر للحاء وتوابعه بمجموعة من نوى جذع الدماغ، ومقدم الدماغ القاعدى والمهاد. تمتد محاور هذه الخلايا على نطاق واسع وتطلق الأسيتايل كولين وإكسيرات أخرى حيوية لليقظة والاستثارة والنوم. إجمالا، تخلق هذه الألياف الصاعدة الشروط الضرورية للوعى بأى محتوى. تمكِّن الوعى (وتسمى الشروط العصبية للتمكين) لكنها ليس خاصة وموضعية وسريعة بما يكفى لتقديم محتوى إدراكى. تتمتع ائتلافات الخلايا العصبية وحدها فى مقدم الدماغ بالخصائص المطلوبة للارتباطات العصبية للوعى.

الحالات المزاجية والانفعالات والتقديرات أمثلة بارزة للعوامل التى يمكن أن تعدل الإدراك وتوجهه. حاليا، أتغاضى عن هذا لصالح برنامج بحثى يستكشف الجذور الخلوية للإدراك الشعورى.

تعطل عقاقير التخدير الكلى الإحساس بشكل آمن وعكسى أثناء التدخل الجراحى مع ما يرتبط به من ألم وكرب. ونتيجة تأثيرها على نطاق واسع، لم تكشف إلا القليل عن العلاقة المباشرة بالبحث عن الارتباطات العصبية للوعى.

أبحث أنا وفرنسيس عن الارتباطات العصبية للوعى، أصغر مجموعة من الأحداث العصبية تمثل الركيزة الفيزيائية لمُدْرَك معين فى ظل عدد من الشروط (على سبيل المثال، أثناء الرؤية وأثناء التخيل، وفى المرضى، وفى القرود، إلخ).

وصفتُ بعض استراتيجيات البحث المطبقة لاقتفاء موضع الارتباطات العصبية للوعى وخصائصها. تنتهى إلى، أولا، ارتباط دقيق بخصائص مجال استقبال الخلايا العصبية وأنماطها المتأججة مع محفز الوعى على أساس محاولة لمحاولة، وتؤثر، ثانيا، على المُدرَك بمعالجة الارتباطات العصبية المسئولة للوعى.

توحى الخصوصية وهى العلامة المميزة للبيولوجيا الجزيئية والخلوية بأن ارتباطات الوعى تتأسس على آليات وأدوات بيولوجية معينة بالتساوى، بما فى ذلك أنواع مميزة من الخلايا العصبية، المترابطة فيما بينها بطريقة خاصة وتتأجج على نحو وثيق الصلة. لكن الارتباطات العصبية للوعى قد تتضمن أيضًا تجمعات كبيرة من الخلايا.

لأن الأفكار التى طرحت فى هذا الفصل قد تبدو جافة إلى حد ما، أوضحها بإضافة بعض التفاصيل فى الصفحات التالية، حيث أرى أن الارتباطات العصبية للوعى لا توجد ضمن الخلايا العصبية فى اللحاء البصرى الأولي.

الهوامش:

(١) جويل أكنباتش Joel Achenbach: كاتب أمريكى فى "واشنطون بوست" (المترجم).

(٢) يوجد تعليق على التفكير الحالى فى الارتباطات العصبية للوعى فى مجموعة حررها الفيلسوف Thomas Metzinger, 2000. بشكل خاص، يفحص Chalmers, 2000 صعوبات تعريف دقيق للارتباطات العصبية للوعى. انظر أيضًا مقالات فى عدد خاص ٢٠٠١ عن "الوعى" فى مجلة ".Cognition دعا Teller and Pugh, 1983، Teller, 1984 الركيزة العصبية للخبرة "موضع الجسر"، وهو مفهوم لا يختلف كثيرا عن الارتباطات العصبية للوعى. لا يعتقد الجميع، مع ذلك، أن للوعى بكل خبرة ارتباطات عصبية للوعى يكفى نشاطها لإنتاج تلك الخبرة. للاطلاع على مناقشات ضد هذا النوع من التماثل الشكلى، انظر Pessoa, Thompson and Noë, 1998؛ O'Regan and Noë, 2001.

(٣) تشمل المراجع البارزة Moore, 1922؛ Grossman, 1980؛ Baars, 1988, 1995، Bogen, 1995a؛ Searle, 2000.

(٤) تؤكد تقنيات التأمل على تفريغ الدماغ من كل شىء بالتركيز على فكرة واحدة أو مُدْرَك واحد. ويستغرق الأمر سنوات من الممارسة لقمع التحولات المستمرة للانتباه (الفصل ٩) والتركيز فترة طويلة على شىء واحد دون أن يتغلب النوم على المرء. نتيجة وجود التكيف العصبى باستمرار، يمكن للوعى بهذا الشىء أن يخفت تدريجيا ويتلاشى، تاركًا الدماغ دون ائتلاف مهيمن والشخص دون محتوى للوعى رغم يقظته.

(٥) بالنسبة لشاب سليم، يحدث اللاوعى فى ٦.٨ ثانية! وتأكد هذا بسد الشريان السُّبَاتى الداخلى بضغط على العنق فى المتطوعين (Rossen, Kabat and Anderson, 1943). تأكد المسار العام للأحداث من الوعى إلى اللاوعى المفاجئ وبالعكس - ويشمل غالبًا أحلامًا بصرية شديدة ومشاعر بهجة عند اليقظة - تأكد بإغماء الطيارين نتيجة زيادة السرعة والمتطوعين الآخرين الذين يلفون فى آلات دوارة بمعدل عال فى زيادة السرعة (Forster and Whinnery, 1988؛ Whinnery and Whinnery, 1990). البيولوجيا العصبية عن فقد الوعى رائعة، لكن لم تستكشف إلا منطقة ضئيلة تتصل بخبرات الاقتراب من الموت ونوبات الغياب absence seizures، وظواهر أخرى غير طبيعية.

(٦) جوسيب مروزى Giuseppe Moruzzi (١٩١٠ ـ ١٩٨٦): عالم إيطالى. هوراس ماجون Horace Magoun: عالم أمريكى من مواليد ١٩٠٧ (المترجم). توصف تجاربهما الأصلية على القطط فى Moruzzi and Magoun, 1949، Magoun, 1952. انظر أيضًا Hunter and Jasper, 1949. ويقدم كتاب Hosbon, 1989، وكتاب Steriade and McCarley, 1990 رأيا أحدث عن ضبط جذع الدماغ لليقظة والنوم.

(٧) لمعرفة المزيد عن نوى جذع الدماغ وعلاقتها بالوعى، راجع البحثين الرائعين Parvizi and Damasio, (2001) and ،Zeman, (2001).

(٨) Foote, Aston-Jones and Bloom, 1980؛ Foote and Morrison, 1987. Hobson, 1999. حين تغلق خلايا البقعة الزرقاء، يقل كثيرا النشاط المتأجج فى قرن آمون ومواضع أخرى. وقد يفسر هذا أنك لا تستطيع تذكر ما حلمتَ به، بسبب إعاقة الانتقال من الذاكرة الطويلة إلى الذاكرة طويلة المدى. هل تطور التكنولوجيا الكيميائية عقارًا يطلق النور أدرينالين فى قرن آمون أثناء نوم الحركات السريعة للعينين، مما يسمح بتذكر أحداث الأحلام؟ هل يفتح هذا صندوق بندورا Pandora's (بندورا شخص فى الأساطير اليونانية أرسل إلى الأرض بصندوق ممتلئ بالشرور، فتحه على عكس التعليمات فانطلقت منه الشرور تصيب الأرض ـ المترجم) للوساوس والذكريات والأفكار المكبوتة؟

(٩) بالمثل، تصمت خلايا البقعة الزرقاء فى الكتابلكسى cataplexy، والشخص فى وعى كامل عادة (Wu et al., 1999). انظر أيضًا الهامش ٢٨ فى الفصل الأول.

(١٠) يبحث Hille, 2001 بشكل شامل تأثير الناقل العصبى على القنوات الأيونية.

(١١) Steriade and McCarley, 1990, and Woolf,(2002).

(١٢) يوضح Perry et al., 1999 ببراعة تسهيل الأسيتايل كولين للوعى. انظر أيضًا Hobson, (1999) and Perry, Ashton and Young, (2002).

(١٣) Hunter and Jasper, 1949؛ 1995؛ Llinás and Paré, 1991؛ Bogen,1995b؛ Baars, 1995؛ Newman, 1997؛ Purpura and Schiff, 1997؛ Cotterill, 1998، تؤكد كل هذه المصادر على الدور بالغ الأهمية للنوى الصفائحية المهادية فى التمكين للوعى. تمتد الخلايا الصفائحية بقوة إلى العقد القاعدية، وبطريقة أكثر انتشارا إلى الكثير من اللحاء الجديد. تستقبل النوى الصفائحية معلومات قليلة، إن استقبلت، من اللحاء الجديد الحسى (على سبيل المثال، من اللحاء البصرى الأولى أو المنطقة الصدغية الوسطى أو اللحاء الصدغى السفلى). برهنتُ (Koch, 1995) على أن ذلك النشاط فى النوى الصفائحية لا يمكن أن يتوسط حالات حسية معينة؛ لأن خلايا النوى الصفائحية تفتقر إلى التمثيل الصريح اللازم.

(١٤) شغلت حالة قانونية عناوين الأخبار فى سبعينيات القرن العشرين، حالة كارن آن كوينلان. فى الحادية والعشرين من العمر، تجرعت خليطا من الكحول مع مهدئات موصوفة ودخلت فى سكتة قلبية تلاها تلف فى الدماغ نتيجة نقص الدماء. لم تستيقظ

كوينلان قط ودخلت فى حالة خمود مستمر تميز بدورة سليمة لليقظة والنوم، وأحيانا حركات غير موجهة لهدف، لكن لم يكن هناك إدراك أو وعى ظاهر. وحصل والداها على إذن من المحكمة بإزالة جهاز التنفس الصناعى، لكنها بقيت على قيد الحياة لتسع سنوات أخرى حتى ماتت بعدوى نتيجة نقص المناعة. كشف تحليل الجثة (Kinney et al., 1994)أن مهادى كوينلان، بما فى ذلك النوى الصفائحية، تعرضا لتلف شديد، بينما كان لحاءا المخ وجذع الدماغ سليمة نسبيا.

(١٥) تُناقش الارتباطات العصبية للنقص المتزايد فى الاستثارة فى موقف إكلينيكى فى Plum and Posner, (1983) ؛Giacino, (1997) ؛Schiff and Plum, (2000) ؛Zeman, (2001) Zafonte and Zasler, (2002) ؛Schiff, (2004).

(١٦) يذكر Schlag and Schlag-Rey, 1984 أن لخلايا فى النوى الصفائحية فى القرود مجالات كبيرة للاستقبال البصرى غير حساسة إطلاقًا لأبعاد المحفز أو للسطوع. يستنتج Minamimoto and Kimura, 2000أن مناطق النوى الصفائحية تلعب دورًا مهمًا فى توجيه الحيوان للأحداث البصرية، وهو توجيه يحتاج إليه ليتصرف.

(١٧) دراسة Damasio, 1999، "الإحساس بما يحدث"، وهى مستلهمة عموما من البيانات الإكلينيكية، ممتعة. يوثق كتاب LeDoux, 1996البيولوجيا العصبية للانفعالات، ويراجع Dolan, 2002 مساهمات التصوير الوظيفى للدماغ باتجاه فهم الانفعال والسلوك.

(١٨) هذه هى النية على الأقل. لكن قد لا يكون التخدير كاملا فى كثير من الأحيان. فى حالات نادرة، يستيقظ مرضى فى العمليات الجراحية، فزعين لعجزهم عن الحركة تمامًا، وعن التواصل مع الطاقم الطبى (Rosen and Lunn, 1987). يمكن منع هذه الأحداث إذا قُيِّمتْ درجة الوعى أثناء العملية. ومن المدهش أنه لا يوجد مقياس للوعى يمكن التعويل عليه، رغم أن الأدوات التى تعتمد على رسم المخ الكهربى، التى تقيِّم القوة الكهربية فى حزم متنوعة التردد، تبدو واعدة (Madler and Pöppel, 1987؛ Kulli and Koch, 1991؛ Drummond, 2000).

(١٩) التخدير التفكيكى dissociative: شكل من التخدير الكلى يتميز بارتخاء العضلات والتخشب والنسيان، ولا يشمل بالضرورة فقدان الوعى بشكل كامل (المترجم).

(٢٠) يلخص Franks and Lieb, 1994, 1998؛ Antkowiak, ٢٠٠١ الأساس الجزيئى للتخدير الكلى. وتعرض نظرية فلوهر فى Flohr, Glade and Motzko, 1998؛ Flohr, 2000، ويراجعها نقديا Franks and Lieb, 2000. يقدم مجلد حرره Watkins and Collingridge, 1989 معلومات أساسية عن مستقبلات النمدا. أعاق Chapman and Stryker, 1989 مستقبلات النمدا فى اللحاء البصرى الأولي فى القطط ولاحظا فقدا كبيرا فى الاستجابات الخلوية للمحفزات.

(٢١) لا توجد مستقبلات للألم فى النسيج العصبى نفسه، ورغم ذلك، وبشكل ينطوى على مفارقة، اللحاء هو القاعدة النهائية لإحساس الألم. مما يجعل المتابعة طويلة المدى للخلايا العصبية الفردية أمرًا ممكنًا.

(٢٢) لأن الحيوانات المخدرة تكون مشلولة أيضًا، تُحرَم أدمغتها من التغذية الرجعية من مفاصلها وعضلاتها. ربما يفسر الشلل الاستجابات البطيئة فى مناطق اللحاء المعنية بالتخطيط للحركة وتنفيذها.

(٢٣) لمقارنة المباشرة لاستجابات الخلايا العصبية بين حالات اليقظة والتخدير ملحة تقنيا: لأن القرد ينبغى أن ينوَّم بسرعة وأمان ويُوقَظ من جديد دون التشويش على التركيب الكهروفسيولوجى (Tamura and Tanaka, :Lamme, Zipser and Spekreijse, 1998 - 2001 يقدم التصوير الوظيفى بديلا لجدولة الاختلافات بين الدماغ اليقظ والمخدر (Logothetis et al., 1999, 2001 ,.Alkire et al., 1997, 1991).

(٢٤) عبرت عن افتتانى بالتخدير فى مراجعة مشتركة لهذا الحقل مع طبيب تخدير (Kulli and Koch, 1991). بمجرد تحديد الارتباطات العصبية للوعى، ينبغى أن تؤدى العقاقير التى تتعارض معها إلى إجراءات تخدير أكثر أمنا مع أعراض جانبية أقل من الإجراءات المتبعة حاليا.

(٢٥) يتجاهل الجدول الحالات المرضية أو المتغيرة من الوعى.

(٢٦) لا أؤكد الشروط "الضرورية" نتيجة الغزارة الهائلة فى الشبكات البيولوجية. بينما قد يدعم النشاط فى مجموعة مُدْرَكًا فى حالة، فقد يعوض ذلك الشخص الذى فقد هذه الخلايا بمجموعة عصبية مختلفة.

(٢٧) المكافئ العصبى للتساؤل المستمر لدينيت Dennett "ثم ماذا يحدث...".

(٢٨) كما نناقش فى الفصول ١٢، ١٣، ١٤، تتوسط فى كثير من السلوكيات عوامل حركية حسية متخصصة جدا وعالية الكفاءة تتخطى الوعى ولها مصادرها الخاصة بالمعلومات، مثل الأوضاع الدقيقة للطرف أو العين. قارنها بالمعلومات التى تصبح شعورية. بمجرد أن تعى محفِّزًا، يمكنك التحدث عنه، يمكنك تذكره فيما بعد، يمكنك الانصراف عنه و/ أو القيام بعدة أعمال أخرى. يستخدم Baars, 1988, 1997, 2002 (وانظر أيضًا Dennett, 1991) استعارة السبورة ليؤكد هذا الاختلاف، حيث يمكن لمختصين يتنافسون أو يتعاونون للوصول إلى مدخل كتابة المعلومات بحرية واستعادتها. البيانات الموضوعة عليها تناظر، فى أية لحظة، محتوى الوعى، وتنتشر إلى بقية المجتمع. يحدث معظم الفعل وراء المَشاهد، مشكِّلا حالة السبورة، ويبقى هذا كله خارج حدود الوعى. وسَّع Dehaene and Changeux ومساعدوهما فى باريس وحسنوا فكرة مجال العمل العام فى إطار عصبى Dehaene, Sergent Dehaene and Naccache, 2001 Changeux, 1993 and Changeux, 2003

(٢٩) Zeki, 1998; Zeki and Bartels, 1999. أعود إلى الوعى المجهرى فى الفصل ١٥.
(٣٠) بول مكارتنى Paul McCartney (١٩٤٢ ـ) : مغنى إنجليزى (المترجم).
(٣١) أعود إلى علم أعصاب الأحلام فى سياق اللحاء البصرى الأولي فى الفصل التالى. يتناول Louie and Wilson, 2001 هذه المسألة مباشرة بدراسة فئران تحلم بالجرى فى متاهات.
(٣٢) استخدام التحفيز المغناطيسى عبر الجمجمة للتدخل بشكل مؤقت فى أجزاء من اللحاء قريبة للسطح فى أشخاص طبيعيين يزداد بسرعة هائلة، رغم عدم فهم الأساس الفسيولوجى لهذه التقنية. مزيتها الأساسية الدقة الزمنية الهائلة؛ وعيبها الكبير ضعف التحديد المكانى. يراجع Cowey and Walsh, 2001 أدبيات الموضوع. يوضح Kamitani and Shimojo, 1999 ببراعة كيف أن التحفيز المغناطيسى عبر الجمجمة يمكن أن يوضح معمار اللحاء البصرى الأولي.
(٣٣) يمكن وجود سوابق لفكرة الخصوصية العصبية فى الأدبيات. تاريخيا، من أكثر الصيغ بصيرة لفرضية أن مجموعة فرعية معينة من الخلايا العصبية مسئولة عن توليد خبرة الوعى مفهوم أوميجا ـ الخلايا العصبية الذى قدمه فرويد فى ١٨٩٥ فى "مشروع سيكولوجيا علمية" غير المنشور. فى هذا البحث الموجز نافذ البصيرة، حاول فرويد اشتقاق علم نفس على أساس نظرية الخلية العصبية المصوغة حديثا (وساهم فيها بعمله البحثى عن التشريح العصبى للعقدة الفمية المِعدِية فى جراد البحر: .(Shepherd, 1991 قدم فرويد ثلاث فئات من الخلايا العصبية: فاى ـ وساى ـ وأوميجا ـ . تتوسط الفئة الأولى الإدراك والثانية الذاكرة. وافترض فرويد أن الذاكرة ممثلة بتسهيلات موجودة بين الخلايا العصبية ساى ـ عند جسور تماسها (أى المشابك). الفئة الثالثة من الخلايا العصبية مسئولة عن توسط الوعى والكوليا، رغم اعتراف فرويد: "لا يمكن، بالطبع، القيام بمحاولة لتفسير كيف تجلب هذه العمليات المثيرة فى الخلايا العصبية أوميجا ـ الوعى معها. ليس سوى مسألة البرهان على وجود توافق بين خصائص الوعى المعروف لنا وعمليات فى الخلايا العصبية أوميجا ـ تختلف بالتوازى معها." حين نقرأ بقية البحث، يتضح تماما لماذا لم يرض فرويد بمحاولته لربط العقل بالدماغ. فى ذلك الوقت، لم يكن هناك شىء معروف عن الفيزياء الحيوية للخلايا العصبية والطريقة التى تتواصل بها، ولم يكن هناك برهان كاف على وجود منطقة بروكا Broca للكلام، وكان تحديد موضع الوظيفة البصرية فى الفص القذالى موضع خلاف. وبالتالى، هجر فرويد علم الأعصاب مفضلا سيكولوجيا خالصة (Freud, 1966؛ للاطلاع على مناقشة، انظر .(Kitcher, 1992
(٣٤) للاطلاع على مثالين لعالمَى أعصاب يؤيدان التفسير الشمولى للوعى، انظر Popper and Eccles, 1977؛ Libet, 1993. يدعى البعض (على سبيل المثال Dennett, 1978, 1991 أن

نسبة المُدْرَك الأحمر لعمل مجموعة خاصة من الخلايا العصبية يكون ما يدعوه Ryle, 1949 خطأ تصنيف.

(٣٥) Edelman, 1989 ؛ Edelman and Tononi, 2000. للاطلاع على ملخص قصير لفرضيتهما عن الجوهر الديناميكى، انظر Tononi and Edelman, 1998.

(٣٦) يتم الدفاع عن أطروحة أن الخصوصية هى الموضوع الرئيسى فى البيولوجيا الحديثة فى Judson, 1979. قد توجد الخصوصية الجزيئية أيضًا على مستوى القنوات الفردية التى تعتمد على الفولت، المسئولة عن كل المعالجات فى الجهاز العصبى. قناة نموذجية يغطى البوتاسيوم غشاءها تميز أيون بوتاسيوم نصف قطره ١٣٣ـ ــ من الأيونات القاعدية الأخرى، مثل أيون صوديوم نصف قطره 0.95 A بمعامل من عشرة آلاف. وتكمل هذا العمل الفذ بمعدل يبلغ ١٠٠ مليون أيون فى الثانية (Doyle et al., 1998؛ Hille, 2001). تطورت قنوات البروتينات هذه فى ظروف ملحة، إضافة إلى ذلك، تستبدل حمض أمينى بآخر - فى موضع من موضعين استراتيجيين بطول سلسلة من آلاف الأحماض الأمينية - تحول قناة انتقائية للصوديوم إلى قناة انتقائية للكالسيوم (Heinemann et al., 1992).

(٣٧) يحول الاختلاف فى الصبغتين الموجودتين فى المستقبلات الضوئية قمة الحساسية حوالى ٤ نانومتر nm (واحد على مليار من المتر - المترجم) (Asenjo, Rim and Oprian,1994 Nathans, 1999.

(٣٨) أجسام الخلايا الهرمية اللحائية خالية عادة من المشابك المثيرة، ويفترض أن ذلك يرجع إلى أنها قد تكون قوية جدا. مع ذلك، يمكن لمجموعة صغيرة لها هذه الخاصية أن تتهرب من الكشف عنها ضمن بلايين من الخلايا اللحائية، إلا إذا بحثْتَ عنها.

(٣٩) لوالب ألفا وألواح بيتا: من البنى الثانوية فى البروتينات (المترجم).

الفصل السادس

الارتباطات العصبية للوعى ليست فى اللحاء البصرى الأولي

المسألة ليست ما تتطلع إليه، بل ما تراه.

هنرى ديفيد ثوريو(١)

فى الفصل السابق، راجعتُ مفهوم الارتباطات العصبية للوعى ووصفتُ وسائل تجريبية للبحث عن هذه الروابط. أطبِّق هنا هذه المفاهيم وأتوصل إلى نتيجة مدهشة: رغم تورط اللحاء البصرى الأوَّلي فى الرؤية بشكل جوهرى، لا تساهم معظم خلاياه ـ إن لم تكن كلها ـ مباشرة فى محتوى الوعى البصرى.

ثم ماذا؟ مع مائة منطقة لحائية أو أكثر فى دماغ الإنسان، من يبالى إذا كانت واحدة منها ليست جزءًا من الارتباطات العصبية للوعى؟ الإجابة بإيجاز: ينبغى أن تبالى؛ لأن هذه النتيجة لا تتضمن فقط أن أى نشاط لحائى يرتبط تلقائيا بالوعى، بل أيضًا للطرق المستخدمة لترسيخ هذا الادعاء.

توجد أسباب كثيرة لاحتمال أن تشارك خلايا فقط بشكل غير مباشر فى الرؤية الشعورية. كما نناقش فى الفصل الرابع عشر، التخطيط من الوظائف الأساسية للوعى. مما يوحى بأن خلايا الارتباطات العصبية للوعى، الخلايا ذاتها، ترتبط جوهريا بمراكز التخطيط والتنفيذ فى الدماغ. وهذه توجد، تقريبًا، فى لحاء مقدم الفص الجبهى؛ لأن خلايا اللحاء البصرى الأولي لا ترسل نتاجها إلى مقدمة اللحاء. توقعت أنا وفرنسيس فى ١٩٩٥ أن خلايا اللحاء البصرى الأولي لا يمكن أن تكون مسئولة مباشرة عن الرؤية الشعورية. بينما اللحاء البصرى الأولي

ضرورى للرؤية العادية ـ كما هو الحال بالنسبة للعينين ـ لا تساهم خلاياه فى الخبرة الظاهرية.[٢] تركز الأقسام الأربعة التالية على دليل لأطروحتنا من ملاحظة البشر، ويصف القسم التالى فحوصا بارزة للخلية العصبية الواحدة فى القرود.

٦ ـ ١ لا ترى دون اللحاء البصرى الأولى

لا يرى المرضى الذين يدمر لحاؤهم البصرى الأولي بسكتة دماغية أو تلف موضعى آخر شيئًا. يعانون من عمى نصفىفى المجال المقابل من المشهد، لا يستطيعون تحديد الأهداف فى هذه المنطقة (تدمير اللحاء البصرى الأولى فى النصف الأيسر من المخ يؤدى إلى فقدان البصر فى المجال الأيمن من المشهد والعكس بالعكس).[٣] يبدو أن هذه الملاحظة توحى بأن اللحاء البصرى الأولي ضرورى للارتباطات العصبية للوعى. لكن بالمنطق ذاته، يمكن أن يكون الجهد الكهربى عبر غشاء المستقبلات الضوئية جزءًا من الارتباطات العصبية للوعى. نكرر، مع ذلك، بينما خلايا الشبكية ضرورية للرؤية، يختلف نشاطها جوهريا عن الخبرة البصرية.

أدافع هنا عن أطروحة أن نشاط اللحاء البصرى الأولي يسبق إدراك المحفِّزات البصرية. الخلايا الشوكية فى اللحاء البصرى الأولي بالتالى مثال لنشاط ما قبل الارتباطات العصبية للوعى (الجدول ٥ ـ ١).

الأكثر إلحاحا هو الملاحظة الإكلينيكية بأن المرضى الذين لديهم اللحاء البصرى الأولي سليمًا لكن دون حزام المناطق اللحائية المحيطة بهذا اللحاء على الضفة العليا (تمثل السفلى) فى الشق المهمازى calcarine fissure لا يرون ما فى الربع السفلى (يمثل العلوى) من المجال البصرى[٤]. بتعبير آخر، لا يكفى جهاز بصرى أولي يقوم بوظيفته، بما فى ذلك اللحاء البصرى الأولى، للرؤية الشعورية.

٦ ـ ٢ حتى لو لم تره

لا يزال اللحاء البصرى الأولى يتكيف معه

يمكن أحيانا أن تساعد نتيجة اختبار سيكولوجى فى تحديد موضع عملية معينة فى تيار المعالجة، من اكتساب صورة إلى إدراك شعورى. ومن أمثلة ذلك، توضيح شينج هى Sheng He وباتريك كافانا Cavanagh وجيمس إنتريليجتور Intriliga-tor، من جامعة هارفارد، أن محفِّزًا خفيا يمكن أن يؤدى إلى تأثير لاحق واضح.[٥]

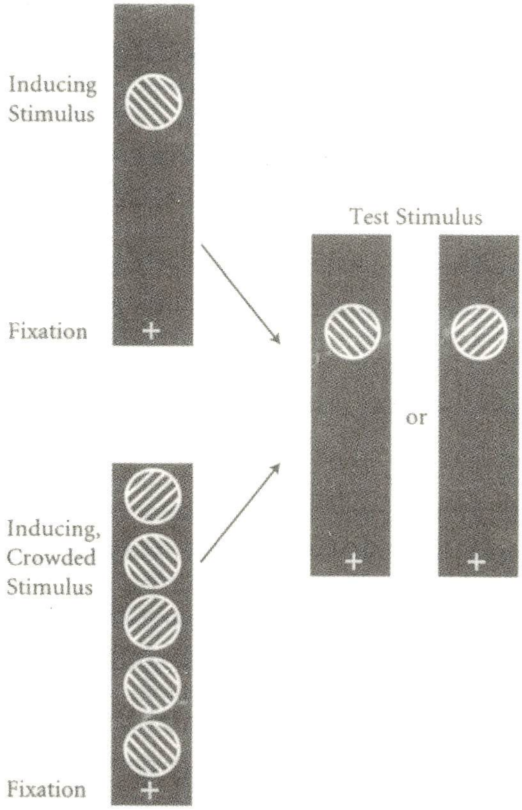
اعتمد تصميم تجربتهم على التأثير اللاحق البصرى المشترك (يرتبط نوعيا بوهم الشلالات الذى نتناوله فى القسم ٨ ـ ٣). إذا حدق شخص دقيقة فى حافات أفقية ثم تطلع فى حاجز اختبار أفقى شاحب، تنقص قدرته على تحديده. هذا الشكل من التكيف خاص بالاتجاه ـ تبقى الحساسية للحواجز الرأسية دون تغيير (تقريبًا) ـ وتختفى سريعًا. لأن الخلايا الموجهة أفقيا تتأجج لفترة طويلة والشخص يحدق فى الحواجز، يعتقد أنها "ترهق" وتنضبط من جديد. فى ظل هذه الظروف، يتطلب الأمر مُدْخلا أقوى من المعتاد لتستجيب الخلايا بقوة.

أسقط هو وزملاؤه حاجزًا واحدًا، يُرَى من ثقب دائرى، على شاشة كمبيوتر. وحتى مع وضع حاجز الحث هذا فى الأطراف، رُؤِى بوضوح وأدى إلى تأثير لاحق معتمد على الاتجاه متوقع. فى شكل آخر للتجربة، أضافوا أربعة حواجز متماثلة قرب الحاجز الأصلى (الشكل ٦ ـ١). أخفى هذا اتجاه حاجز الحث ـ رأى الأشخاص شيئا ما، ولم يدركوا اتجاهه، حتى حين مُنِحوا وقتا غير محدد للرؤية (أثر الإخفاء فقط لأن الحاجز يُرَى من زاوية العينين). مع ذلك، كان التأثير اللاحق قويا وخاصا بميل الحاجز غير المرئى كما كان الحال وهو مرئى بوضوح.

توضح تجربة هى He وزملائه أن الوعى البصرى يحدث فى مرحلة تتجاوز مكان التكيف الخاص بالاتجاه، ويعتقد أن خلايا الاتجاه فى اللحاء البصرى الأولي وما بعده تتوسط فيه.[٦] أو، بلغتى، تتجاوز الارتباطاتُ العصبية للوعى اللحاءَ البصرى الأولي.

ابتكر شينج هى He ودن ماكليود Don MacLeod تجربة أخرى عززت هذا الاستنتاج. باستخدام انترفيرومترى[٧] من الليزر لتجاوز بصريات العين (التى تطمس التفاصيل الدقيقة)، أسقطوا حواجز رفيعة جدا على الشبكيات. تسبب هذه الحواجز تأثيرًا لاحقا يعتمد على الاتجاه لا يُفسَّر إلا باستثارة الخلايا المعتمدة على الاتجاه فى اللحاءَ البصرى الأولي أو بعده. رأى الملاحِظون، مع ذلك، هذه الحواجز الدقيقة ولم يميزوها عن مجال متسق. تضمنت هذه التجربة أن المعلومات المكانية ذات الدقة العالية، أدق من أن تُرَى، اخترقت الجهاز البصرى حتى اللحاء، حيث أثرت ولم تؤد إلى إحساس شعورى.[٨]

ليست كل التأثيرات اللاحقة مستقلة عن الرؤية. بعض أنواع التأثيرات اللاحقة للحركة (القسم ٨ ـ٣) تضعف جدا إذا كانت حركة الحث غير مرئية.[٩]



الشكل ٦ ـ ١ **تحفيز الدماغ لا العقل**: ركز الأشخاص على الصليب فى صورة من الاثنتين اللتين إلى اليسار لبضع دقائق حتى حدث تأثير لاحق قوى يعتمد على الاتجاه. يمكن تقييم قوته بومضات خاطفة من نسخة شاحبة من إحدى صورتى الاختبار على اليمين. تضاد الرقعة التى تميل باتجاه اليسار كان أكبر بالنسبة للأشخاص حين رأوه مقارنة بالحاجز الذى يميل باتجاه اليمين. وكان هذا صحيحا حتى لو لم يستطع الأشخاص رؤية طريقة ميل حاجز الحث، مثلما حين يُحجَب برقع قريبة (الصورة السفلى إلى اليسار). معدل عن He, Cavanagh and Intriligator, 1996.

٦ـ٣ لا تحلمُ باللحاء البصرى الأولي

تأتى الأدلة على أن خلايا اللحاء البصرى الأولي ليست جزءًا من الارتباطات العصبية للوعى بالأحلام أيضًا. من منظور تجريبى، تمتلئ الأحلام بمشاهد الحياة وأصواتها. بينما يختلف وعى الحلم عن الوعى فى حالة اليقظة (على سبيل المثال، تفتقر الأحلام إلى الاستبطان والبصيرة)، من المؤكد أن الحلم يبدو مثل شىء ما. ويحتمل أن الائتلافات العصبية التى تتوسط الارتباطات العصبية للوعى فى الأحلام البصرية تتداخل جزئيا مع تلك الخاصة بالرؤية أثناء اليقظة.

نعتقد عادة أن نشاط الدماغ فى نوم الحركات السريعة للعينين يماثل نشاط الدماغ اليقظ. ويسمى نوم الحركات السريعة للعينين بالنوم المتناقض paradoxical لأنه لا يُميِّز بسهولة عن حالة اليقظة باستخدام المعايير القياسية لرسم المخ الكهربى. وهو ما يتناقض مع نوم الحركات غير السريعة للعينين أو نوم الموجات البطيئة، الذى يتميز بتذبذبات كبيرة وبطيئة فى رسم المخ الكهربى.

حين يُحرَم المتطوعون من النوم ليلة واحدة مع متابعة تدفق الدم فى المخ بالتصوير الطبقى بانبعاث البوزيترون PET وهم نيام فى الليلة التالية، تنبثق صورة أكثر تظليلا. لنمط نشاط الدماغ الحالم توقيع متميز، مميز تماما عن الدماغ اليقظ. بشكل خاص، يُقمَع اللحاء البصرى الأولي والمناطق القريبة (مقارنة بنوم الموجات البطيئة)، وتنشط بدرجة كبيرة المناطق البصرية الأعلى فى اللفيفة المغزلية fusiform gyrus وفى الفص الصدغى المتوسط. وهكذا يمكن افتراض أن هذه البنى الأخيرة تتوسط إحساس رؤية الأحداث التى تتكشف أثناء الحلم.[١٠]

يستمر المرضى الذين يفقدون اللحاء البصرى الأولي فى سكتة دماغية فى رؤية الأحلام البصرية، مما يقدم دليلا إضافيا على أن نشاط هذا اللحاء غير ضرورى للأحلام.[١١]

٦ـ٤ تحفيز اللحاء البصرى الأولي مباشرة

من المعروف منذ العصور القديمة أن صدمة ميكانيكية قوية فى مؤخر

الدماغ تجعل المتلقى سيئ الحظ يدرك ومضات من النور، تسمى فوسفينات phosphenes (ومن هنا تأتى النجوم وصواعق البرق المرسومة فوق شخصيات الكرتون تضرب رؤوسهم). وهذا لا يوضح، مع ذلك، أن خلايا اللحاء البصرى الأولي جزء من الارتباطات العصبية للوعى.

اليوم، تستخدم أدوات تحفيز أكثر تعقيدًا. جمع جراح الأعصاب، الكندى ويلدر بنفيلد Penfield وزملاؤه فى معهد مونتريال للأعصاب، كتالوجا هائلا لمعلومات عن الطبوجرافيا الموضعية لوظيفة الدماغ من آلاف العمليات الجراحية فى الدماغ بفتح جمجمة مرضى يعالجون من نوبات صرع شديد. تحدث إثارة قوية لأجزاء من الفص القذالى بأقطاب كهربية توضع على سطح لحائى مكشوف، أحاسيس بصرية بدائية مثل أضواء مرتجفة، أقراص ملونة بالأزرق القاتم والأحمر، نجوم، عجلات، كرات ملونة تلف بسرعة، وما شابه.(١٢)

توحى هذه النتائج بأن البالغين الذين يرون بشكل عادى ممن يفقدون الرؤية يمكن مساعدتهم بوسيلة اصطناعية. يكتسب من يزود بوسيلة عصبية الصورة بكاميرا منمنمة، تتخطى الشبكية المصابة بخلل، وتحفز اللحاء مباشرة. تعالج فرق من الأطباء والعلماء والمهندسين المشاكل الهائلة المرتبطة بغرس مثل هذه الأداة الإلكترونية فى الدماغ.(١٣)

ما يمكن أن نتعلمه من تكنولوجيا الأجهزة الاصطناعية أن الارتباطات العصبية للوعى لا تتطلب نشاط الشبكية أو الركبية. يمكن رؤية المدركات البصرية البدائية - معبرة عن الوضع والسطوع واللون - بتحفيز اللحاء البصرى الأولي مباشرة. ولن تتوقف الاستثارة هنا مع ذلك. بدلا من ذلك، تنتشر إلى المنطقة البصرية الثانية ومناطق أعلى حيث الارتباطات العصبية للوعى. تحفيز اللحاء البصرى الأولى فى مريض مناطقه البصرية الأعلى مدمرة يمكن، مبدئيا، أن يدحض فرضيتنا عن اللحاء البصرى الأولي إذا شعر المريض بمدركات بصرية (ربما عن طريق بقايا مسارات نتاج تحت لحائى لمنطقة اللحاء البصرى الأولي). ومع ذلك، لا أعتقد أن مثل هذا المريض يمكن أن يوجد أبدًا.

٦ ـ ٥ خلايا اللحاء البصرى الأولى فى القرد

لا تتبع الإدراك

تأتى أفضل الأدلة وأكثرها مباشرة على أن خلايا اللحاء البصرى الأولي لا ترتبط بالمحتوى البصرى الظاهرى من تسجيل النشاط الشوكى للخلايا العصبية فى قرد نشط.

خلايا اللحاء البصرى الأولى

تستجيب للعمق الموضعى ولا تولِّد إدراك عمق

قدم الفصل الرابع خلايا العينين التى تستقبل المعلومات الواردة من العينين. يمكنها استخدام الاختلافات الصغيرة فى المنظور بين العين اليسرى واليمنى لاستخلاص تباين العينين، وهو ما يجعل الحكم على العمق ممكنًا. مد إصبعك بعيدا بعض الشىء وركز فيه أولا بعينك اليسرى وحدها ثم بعينك اليمنى وحدها. يتحرك وضع إصبعك فى المسافة الأساسية بين المشهدين. ويناظر هذه التحول تباين العينين ويشفر العمق. كلما كان الإصبع أبعد عن العينين، صغر التحول. على أساس معدل التأجج فى خلايا العينين، يمكن لعلماء الكهروفسيولوجيا تمييز قدرات الخلايا على تشفير العمق.

بسلسلة معالجات رائعة للصور توصل بروس كمنج Cumming وأندرو باركر Parker فى مختبر الفسيولوجيا فى أكسفورد إلى أن خلايا اللحاء البصرى الأولي انتقائية للتباين فى قرد يقظ يستجيب بشكل ذى معنى لإشارات العمق الموضعى (موضعى لرقعة من الصورة) لم تؤدِّ إلى مُدْرَكِ عمقٍ عموما. أى إن هذه الخلايا شفرت معلومات التباين الموضعى دون مُدْرَكِ عمقٍ يرتبط بها.

استجابت خلايا أخرى بطريقة مماثلة لإشارَتَى عمقٍ قدمتا مُدْرَكات عمقٍ عامة مختلفة تمامًا. استنتج كمنج وباركر أن هذه الخلايا مثَّلتْ مرحلة أولى حاسمة لتوليد إشارات ستريو معتمدة على التباين لكن هذا الإدراك للعمق حدث أكثر ضد التيار.[١٤]

أى عين ترى الصورة؟

بينما تستجيب الغالبية العظمى من الخلايا العصبية وراء اللحاء البصرى الأولي للصور التى تسقط فى أى من العينين، فإن جزءا مهمًا من خلايا هذا اللحاء أحادية العين؛ أى تستجيب فقط للمعلومات الواردة من عين واحدة. يمكن لشبكة عصبية ماهرة، مبدئيا، تحديد العين التى استقبلت المعلومات بمتابعة نشاط خلايا "العين اليسرى" و"العين اليمنى".

وهذه الملاحظة مناسبة تماما إذا كان لديك أو لدىَّ مدخل العين أصل المعلومات. افترضْ أن صورة شمعة صغيرة تسقط، بواسطة أنبوبة، فى إحدى العينين اليسرى أو اليمنى. هل تعرف إن كنْتَ ترى الشمعة بالعين اليسرى أم بالعين اليمنى؟ الإجابة المدهشة بالنفى، إلا إذا رمشْتَ أو أدرْتَ رأسك. فى ظل ظروف مناسبة وبتحكم صارم، لا يعرف الناس بأى عين يرون. (١٥)

لأن الخلايا اللحائية أحادية العين قاصرة على اللحاء البصرى الأولي، من المغرى أن نستنتج أن خلايا هذا اللحاء ليست جزءًا من الارتباطات العصبية للوعى. وبالضبط لأن هذه الخلايا لها مدخل لبيانات عين الأصل لا يعنى هذا أن هذه المعلومات متاحة بالضرورة لبقية الدماغ.(١٦) ربما لا يكون من المهم لتطور السلوك تفضيل تمثيل صريح لعين الأصل فى اللحاء البصرى وراء اللحاء البصرى الأولي.

تتأثر خلايا اللحاء البصرى الأولى

برمش العين وحركاتها

نستعيد من القسم ٣-٧ أن الناس يغفلون عادة عن الرمش- تلك الفترات الوجيزة التى تُغطَّى عيونهم أثناءها. ومن ثم يكون من استراتيجيات البحث عن الارتباطات العصبية للوعى اقتفاء الخلايا العصبية التى يمنع نشاطُها الرمش. أوضح تيموثى جون Gawne وجولى مارتين Martin من جامعة ألاباما فى برمنجهام أن خلايا الطبقات العليا من اللحاء البصرى الأولي فى القرد الآسيوى

تُغلَق أساسًا أثناء الرمش الانعكاسى. كان تقلُّصُ النشاط أوضح مما حدث عند وجود فجوة طويلة بالتساوى فى النتاج أو عند إظلام الصورة كلها. إذا كان ذلك صحيحا لكل خلايا اللحاء البصرى الأولي فمن الآمن استنتاج أن خلاياه لا تناظر الإدراك البصرى، لأن الرؤية لا تتوقف أثناء الرمش. (١٧)

كما أكدنا فى الفصل الثالث، يعوض الدماغُ تلقائيا ودون وعى استمرار حركة العينين. يبدو العالم الخارجى ثابتًا، حين تثب عيناك فجأة حول الغرفة وحين تقتفى بهدوء طائرًا يحلق بجوارك. هذا الثبات الإدراكى يمكن استغلاله لاختبار خلايا الارتباطات العصبية للوعى.

يمكن مقارنة الاستجابات العصبية لحركة العين على مشهد ساكن بالاستجابات حين تستريح العين والمشهد يُنقَل فى الاتجاه المضاد. إذا قورنت حركة العين المولَّدة داخليًا بحركة الصورة الخارجية، تبدوان متماثلتين تمامًا (على سبيل المثال، حركة العينين إلى اليسار هى ذاتها والصورة تتحول إلى اليمين). قد تحتاج معلومات إضافية من الشبكية لتعرف أن هذين الموقفين منفصلان. إن خلايا اللحاء البصرى الأولي تستجيب بالتساوى للحركة الناتجة عن مطاردة هادئة بالعينين لهدف ولحركة الصورة فى الاتجاه المضاد والعينان ثابتتان. بالمثل، لا يمكن أن تعرف هذه الخلايا الفرق بين حيوان يحول عينيه بسرعة وحين يهتز المشهد بطريقة تشبه ذبذبة العين. بذلك المعنى، يتصرف اللحاء البصرى الأولى مثل الشبكية. يمكن فقط لخلايا فى المنطقة الصدغية الوسطى وما وراءها التمييز بين حركة العين وحركة المشهد.(١٨) بتعبير آخر، وعينا القرد تتحركان، يتحول المشهد الساقط للعالم الخارجى عبر سطح اللحاء البصرى الأولي، فى تناقض تام مع طريقة الإحساس بالعالم.

تفرض نفسها بشكل مماثل تجارب تلتبس فيها الرابطة بين صورة الشبكية وسلوك الحيوان ـ وربما ما يدركه القرد. توضح السجلات بجلاء تام أن الغالبية العظمى من خلايا اللحاء البصرى الأولي تتابع المحفز البصرى لا المُدرَك. تولد عشرات الألوف إن لم تكن مئات الألوف من هذه الخلايا ملايين جهود الفعل دون انعكاس أى من هذا النشاط القوى فى الوعى.(١٩) وهذا الموضوع مهم بما يكفى للقيام بمعالجة منفصلة فى الفصل السادس عشر.

هل التغذية الرجعية إلى اللحاء البصرى الأولي حاسمة للوعى؟

هل الألياف التى تحمل النشاط من المناطق اللحائية العليا عائدة إلى اللحاء البصرى الأولي حاسمة لتوليد الوعى؟ ربما تعزز هذه التغذية الرجعية ـ تنتهى بشكل مفضل فى الطبقات السطحية ـ النشاط المتأجج لخلايا اللحاء البصرى الأولي فوق العتبة. اقترح عدة علماء بارزين فى الأعصاب أن فى لقاء النشاط المتقدم مع تغذية رجعية لحائية لحائية يتم تجاوز العتبة ويتولد الوعى. أعود إلى هذا فى الفصل الخامس عشر.

استُنبِط الدليل على دور التغذية الرجعية من مكون متأخر للنشاط المتجمع لخلايا متعددة فى اللحاء البصرى الأولي ترتبط بإدراك المحفز، لا باستجابة الحيوان. لسوء الحظ، فى غياب عائق دوائى يغلق بشكل انتقائى التغذية الرجعية إلى اللحاء البصرى الأولي دون إعاقة التيار المتقدم للمعلومات، يصعب اختبار هذه الأفكار إلى حد بعيد. (٢٠)

الجدول ٦ ـ ١ بعض الشروط الضرورية للارتباطات العصبية للشعور بأى صفة وحدة لمحفز

١ ـ **التمثيل الصريح:** ينبغى أن تُمثَّل الصفة صراحة على أساس تمثيل عمودى.
٢ ـ **العقدة الضرورية:** لا يمكن إدراك الصفة حين تكون منطقة الدماغ التى تحتوى الارتباطات العصبية للوعى مدمرة أو غير نشطة.
٣ ـ **التحفيز الاصطناعى:** ينبغى لتحفيز كهربى أو مغناطيسى مناسب أن يؤدى إلى إدراك الصفة.
٤ ـ **الارتباط بين الإدراك والنشاط العصبى:** ينبغى أن ترتبط بداية "النشاط" العصبى ذى الصلة ومدته وقوته على أساس محاولة محاولة مع الوعى بالصفة.
٥ ـ **ثبات الإدراك:** ينبغى أن تكون الارتباطات العصبية للوعى ثابتة مع الرمش وحركات العين التى تعوق المعلومات الحسية الواردة ولا تعوق الإدراك.
٦ ـ **الوصول المباشر إلى مراحل التخطيط:** ينبغى أن تمتد خلايا الارتباطات العصبية للوعى إلى مراحل التخطيط والتنفيذ.

٦ ـ ٦ الملخص

يهتم هذا الفصل بمدى ارتباط النشاط فى خلايا اللحاء البصرى الأولي بالوعى البصرى. يحتوى الجدول ٦ـ١ على بعض الشروط الضرورية للارتباطات العصبية للوعى، ويتطلب الأمر، مع الشروط الأساسية الضرورية (الشروط العصبية للتمكين)، أن تكون مقنعة لبعض النشاط العصبى ليكون جزءًا من الارتباطات العصبية للوعى. كما ناقشنا فى الفصل الرابع، تُلبِّى المعايير الثلاثة الأولى فى الجدول فى اللحاء البصرى الأولي: يحتوى على تمثيل صريح لموضع المحفِّزات البصرية واتجاهها؛ ومن دونه لا يرى المرضى: ويؤدى تحفيزه كهربيا إلى فوسفينات بصرية. من جانب آخر، وأنت تقرأ هذا الفصل، لا تلبى خلايا اللحاء البصرى الأولي المعيار الرابع والخامس والسادس.

لا شك فى أن اللحاء البصرى الأولي يحتوى، فى الظروف العادية والمرضية، على معلومات لا يُعبَّر عنها فى الزعى فى ذلك الوقت. المسألة الأصعب بكثير أن نبرهن على أن عدم نشاط هذا اللحاء كاف للمحتوى الحالى للوعى البصرى. قراءة دقيقة للمتبقى من البيانات السيكولوجية والخلية الفردية تتسق مع فرضية أن خلايا اللحاء البصرى الأولي ليست جزءا من الارتباطات العصبية للوعى.[٢١] الأنشطة فى هذا اللحاء، كما هو الحال فى الشبكية، ضرورية للرؤية العادية الواعية لكنها غير كافية (يحتمل أيضًا أن الأحلام والتخيل لا تعتمد على سلامة اللحاء البصرى الأولي).

على عكس مبادئ "الإقصاء" ـ لا يوجد شىء مادى يمكن أن يتجاوز سرعة الضوء، أو أن هذه الآلة المتحركة السرمدية لا يمكن تشييدها ـ فرضيتنا أن الوعى البصرى لا ينشأ فى اللحاء البصرى الأولي ليست قانونًا مطلقًا بل يتوقف على تشريح الأعصاب. وهكذا، لا يوجد ما يضمن تطبيق التفسير نفسه على المناطق الحسية الأولية الأخرى، مثل اللحاء السمعى الأولي أو اللحاء الحسى الجسدى. يجب مناقشة حالة كل منطقة طبقا لوضعها الخاص، اعتمادًا على نمط ارتباطها وشكل استجابة المجموعات العصبية المكونة لها.[٢٢]

فى الفصول التالية، أقدم مزيداً من الأمثلة عن العلاقة بين الاستجابات العصبية والإدراك. لكن قبل القيام بذلك أحتاج إلى أن أفسر فيما يلى كيف يحدد علماء التشريح مناطق محددة فى اللحاء والعلاقات بينها. رغم أن اللحاء له شكل وملمس قنبيطة مطهية بإفراط، تبين أن له بنية منظمة إلى حد كبير.

الهوامش:

(١) هنرى ديفيد ثوريو Thoreau (١٨١٧ ـ ١٨٦٢): كاتب وشاعر أمريكى (المترجم).

(٢) وضعنا هذه الفرضية (Crick and Koch, 1995a) قبل معرفة معظم البيانات المقدمة هنا. يطرح Block, 1996 ادعاءنا بعين فيلسوف.

(٣) للاطلاع على نظرة عامة عن العمى النصفى، انظر Celesia et al., 1991 عدد ضئيل من مرضى العمى النصفى تبقى لديهم سلوكيات حركية بصرية دون خبرة بصرية فى المجال المصاب. هذه المتلازمة الساحرة، المعروفة باسم عمى البصر blindsight، نتناولها بشكل أكمل فى القسم ١٣-٢. قد يحدث شكل من أشكال إعادة التنظيم فى مرضى عمى البصر الذين يعانون من تلف طويل المدى فى اللحاء البصرى الأولَي، مما يسمح بدرجة ضئيلة من الرؤية الظاهرة دون اللحاء البصرى الأولي Ffytche, Guy and Zeki, 1996; Stoerig and Barth, 2001).

(٤) **ربع العمى** الناتج عن تصميم المناطق البصرية البدائية (Horton and Hoyt, 1991b).

(٥) He, Cavanagh and Intriligator, 1996 - انظر أيضًا تعليق Koch and Tootell, 1996. كانت تجربة هى He وزملائه نوعا من تجربة سابقة قام بها Blake and Fox, 1974، واستنتجا أن المحفزات الخفية قد تؤدى إلى تأثيرات قابلة للقياس (انظر الفصل ١٦). وضح Hofstötter et al., 2003 الشىء ذاته بالنسبة **لصور لاحقة سلبية**؛ إن كانت رقعة ملونة تُرى بوضوح أم لا، لا يختلف الأمر فى استمرارية الصورة اللاحقة المرتبطة بالموضوع وفى وضوحها. ويعتمد هذا تماما على زمن تعرض الدماغ البصرى للرقعة الملونة.

(٦) Dragoi, Sharma and Sur, 2000.

(٧) انترفيرومتر interferometer: جهاز لقياس طول الموجة وسرعتها (المترجم).

(٨) He and MacLeod, 2001.

(٩) تُستكشَف العلاقة بين التأثيرات اللاحقة والوعى البصرى بالجمع بين الطرق الفيزيائية النفسية وطرق التصوير, Blake, 1998; Hofstötter et al., 2003; Montaser - Kouhsari et al., 2004

(١٠) ذكر Braun et al., 1998 دراسة تصوير الدماغ الحالم، وعلق عليها Hobson, Stickgold and Pace-Schott, 1998. لم يختلف تدفق الدم فى المخ فى اللحاء البصرى الأولي أثناء نوم الحركات السريعة للعينين عن تدفقه فى حالة الراحة والعينان مغلقتان.

مدى نشاط اللحاء خارج المنطقة المخططة واللحاء الصدغى المتوسط أثناء نوم الحركات السريعة للعينين وهما معزولان وظيفيا عن المعلومات البصرية الواردة ـ لافت تماماً. بشكل عرَضى، إذا وضعنا فى الاعتبار الخريطة البصرية التفصيلية فى اللحاء البصرى الأولي، يحتمل أن يتضمن عدم نشاطها أثناء نوم الحركات السريعة للعينين أن الوضوح المكانى أثناء الحلم البصرى أقل مما فى الرؤية العادية. هل هذا سبب أننى لم أقرأ قط فى أحلامى؟

(١١) للاطلاع على علم أعصاب الأحلام فى المرضى ذوى الأدمغة التالفة، انظر Kaplan-Solms and Solms, ؛Solms, 2000 -1997

(١٢) Penfield, 1975. يذكر Penfield and Perot, 1963 كل الحالات ذات الصلة بشكل شامل.

(١٣) ثمة حالة واعدة من هذه الأدوات الاصطناعية سجلها Schmidt et al., 1996. اتطوعت امرأة فى الثانية والأربعين من العمر كفيفة تماما لمدة ٢٢ سنة لغرس مجموعة تشبه شعر فرشاة تتكون من ٣٨ قطبا دقيقا فى لحائها البصرى الأولي فى تجربة تستغرق ٤ أشهر (أزيلت بعد ذلك). عند تحفيز الأقطاب الفردية كانت ترى فوسفينات تشبه البقع. كان يجب أن تتجاوز شدة التحفيز الكهربى العتبة لترى شيئًا. بشكل متناقض، نقص حجم الفوسفين مع زيادة تيار التحفيز، ربما نتيجة تنشيط الكبح طويل المدى. عند المستويات المنخفضة من التيار، كانت الفوسفينات ملونة غالبا. ومع زيادة فترة التحفيز لأكثر من ثانية، تختفى الفوسفينات عموما قبل نهاية التحفيز. لم تذكر المريضة تقريبا خطوط اتجاه أو نقاطا مستطيلة جدا. فى أدبيات التحفيز اللحائى كلها، يندر حدوث مدركات بصرية موجهة أو متحركة، ربما لأن الأمر يتطلب اقتصار مجال الاستثارة على تشفير عمودى للاتجاه ذاته أو لاتجاه الحركة. يصف Dobelle, ؛Norman et al., 1996 2000 برامج رؤية اصطناعية أخرى.

(١٤) سجل كمنج وباركر فى اللحاء البصرى الأولي خلايا انتقائية للتباين باستخدام ثلاثة نماذج مختلفة مصممة لتمييز استجابة هذه الخلايا فى إدراك العمق (Cumming and parker, 1997, 1999, 2000 . يقدم Poggio and Poggio, 1984 ملخَّصًا جيدا، وعتيقًا إلى حد ما، للأساس العصبى لإدراك العمق. يستنتج Grunewald, Bradley and Andersen, 2002 ، بمقارنة مباشرة لتفريغ خلايا اللحاء البصرى الأولي وخلايا المنطقة الصدغية الوسطى لقرد نشط، أن اللحاء البصرى الأولي لا يتورط مباشرة فى مدركات بنية متحركة (شكل).

(١٥) يمكنك إلقاء نظرة على ذلك بنفسك. انظر بالعينين إلى قلم قائم فى يدك المفرودة، أمامك مباشرة. الآن، أغلقْ عينًا. يتغير وضع القلم كثيرا حين تغلق عينًا، ولا يتغير إطلاقًا حين تغلق الأخرى، لأن لدى معظم الناس، لا كلهم، عين مهيمنة (اليمنى عادة). هكذا، حين ترى شيئًا، فإن عينا واحدة تقوم بمعظم الرؤية غالبا، رغم عدم وعيك بهذه الحقيقة. وتعود دراسة عين الأصل إلى منتصف القرن العشرين

Porac and Coren,1986 :Blake and Cormack, 1979 Pickersgill,1961 :Smith, 1945)

(١٦) اتضحت هذه النقطة لى أنا وفرنسيس فى مراسلة خاصة مع د. تشالرز ك. وو Q. Wu.

(١٧) Gawne and Martin, 2000.

(١٨) تعتمد هذه الخلايا العصبية على إشارات من مراكز الحركة المتحكمة فى حركات العين أو على إشارات التغذية الرجعية من عضلات العين نفسها للتمييز بين الحركة الناتجة ذاتيا والحركة المولدة خارجيا. قدم Ilg and Their, 1996 الكهروفسيولوجيا المناسبة للمطاردة الهادئة، Thiel et al., 2002 لذبذبات العين.

(١٩) ثمة إشارة أخرى إلى أن خلايا اللحاء البصرى الأولي لا تمثل الرؤية الظاهرة فى تقرير Gur and Snodderly, 1997 بأن خلايا تضاد اللون فى اللحاء البصرى الأولي يُعدِّل صعودا وهبوطا تفريغها الخلوى بسرعة ولون حاجز يتذبذب من الأحمر إلى الأخضر والعكس. وهذا مدهش؛ لأن البشر لا يستطيعون معرفة الألوان الفردية عند معدلات عالية من التحول، ويرون أصفر مندمجا وليس أحمر وأخضر متميزين (انظر أيضًا (Engel Zhang and Wandell, 1997).

(٢٠) توصف التجارب الفسيولوجية التى تورط ارتباطات تغذية رجعية لحائية فى الوعى البصرى فى. Lamme and Roelfsema, 2000. Pollen, 1995,1999,2003 Bullier, 2001 Kosslyn, 2001, Lamme and Spekreijse, 2000 البيانات التى ألمح لها فقط بشكل عارض هنا تأتى من تجربة رائعة فى Supèr, Spekreijse and Lame, 2001. دربوا القرود على استغلال الإشارات النسيجية لتحديد صورة على خلفية عشوائية مع قياس النشاط الكهربى فى اللحاء البصرى الأولي. بمقارنة محاولات عرفت فيها الصورة بشكل صحيح بمحاولات عُرِضت فيها الصورة وفشلت الحيوانات فى تحديدها، لاحظ القائمون بالتجربة أن النشاط، بادئا بعد ٦٠ ملى ثانية من بداية الاستجابة الشوكية، زاد حين حدد الحيوان الصورة، ورآها بالطبع. برهن علماء فسيولوجيا الأعصاب على أن هذا النشاط المعزَّز والمتأخر يعكس على الأرجح التغذية الرجعية من المناطق العليا.

(٢١) بعض بيانات التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى فى الإنسان يبدو أنها تناقض هذا الوضع. مع ذلك، كما أرى فى الهامش ٤ فى الفصل ٨ وفى القسم ١٦-٢، تلتقى شكوك منهجية بشأن العلاقة بين استجابة الرنين المغناطيسى والنشاط الشوكى العصبى بالشكوك فى التفسير المعيارى لهذه الدراسات التصويرية.

(٢٢) يوضح تصوير أدمغة مرضى فى حالة خمود مستمر بشكل لا لبس فيه نشاطًا سمعيا أوليا محددا وحسيا جسديا يلى التحفيز المناسب دون دليل على الوعى (Laureys et al., 2000, 2002). وهكذا، ربما يكون صحيحا أنه لا يوجد مركز حسى أولى كافٍ للإدراك الواعى بهذا الإحساس.

الفصل السابع

معمار لحاء المخ

موضوعى الأساسى، إذن، أن التعقيد كثيرا ما يأخذ شكل التدرج الهرمى وأن النظم المتدرجة هرميا لها خصائص مشتركة مستقلة عن محتواها الخاص. التدرجى الهرمى، كما أبرهن، واحد من المخططات البنيوية المركزية التى يستخدمها معمارى التعقيد.

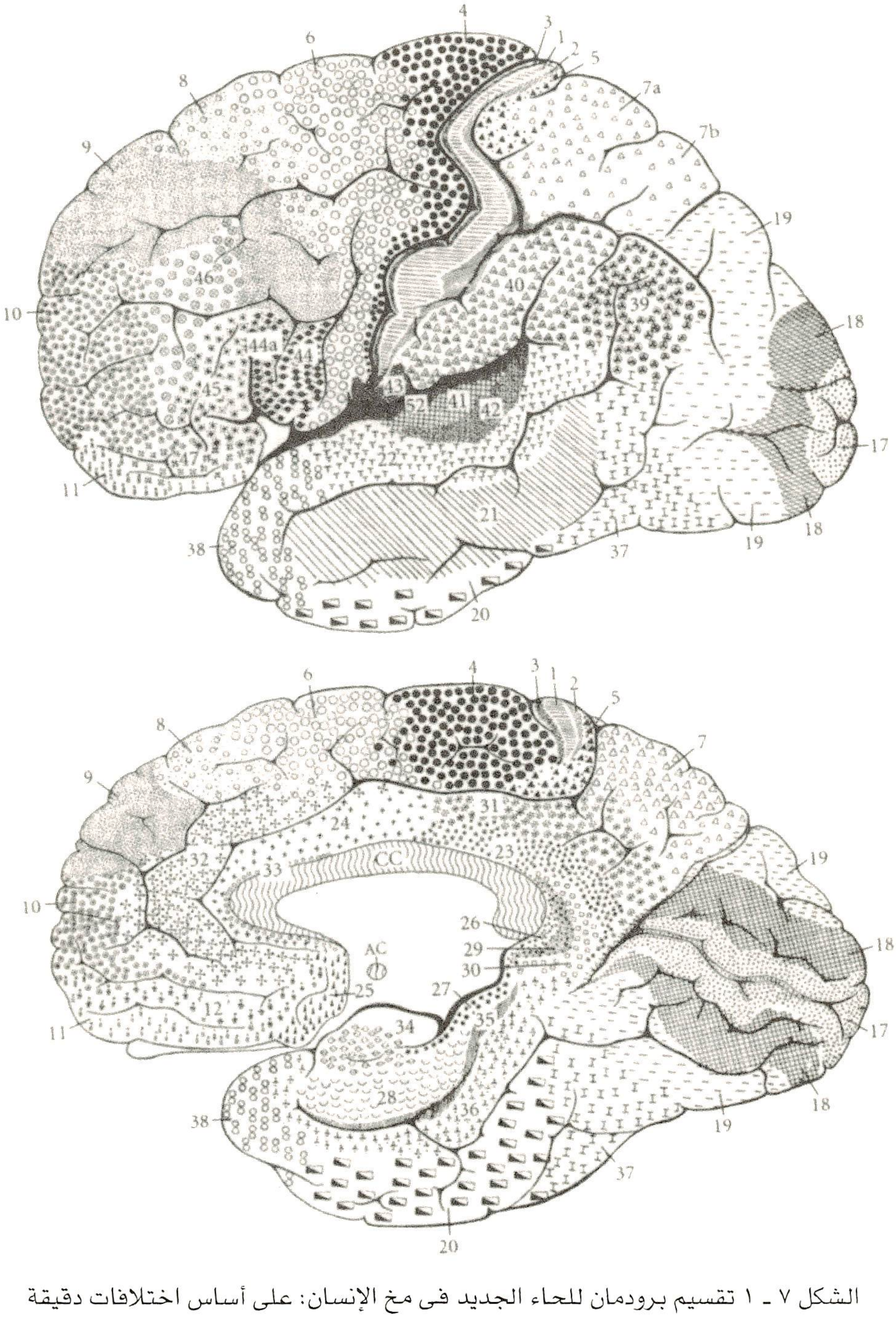
هيربرت سيمون[1] من "علوم الاصطناعى"

فى مواجهة بنية بتعقيد اللحاء، قسمه العلماء إلى أجزاء أصغر وأصغر وحللوه، على أمل أن يؤدى هذا الاختزال فى النهاية إلى فهم الكل. ثبتت منذ البداية صعوبة تنفيذ هذه الاستراتيجية؛ لأن المادة السنجابية فى الدماغ تبدو متماثلة فى كل المواضع. كان على الاستكشاف الشامل للحاء انتظار ابتكار الميكروسكوب الحديث والأصباغ الكيميائية والأصباغ المرتبطة بمكونات الخلية بشكل انتقائى، مثل الارتباط بغطاء الميلين myelin الذى يلتف حول المحاور أو بالحمض النووى الريبوزى RNA فى جسم الخلية. بهذه القدرة المتزايدة لاستهداف مكونات جزيئية معينة فى الخلايا العصبية، ازدهرت دراسة معمار الدماغ، معتمدة على تنوعات دقيقة وموضعية بشكل لافت.

٧ ـ ١ إذا أردتَ فهم وظيفة فاسعَ لفهم بنية

اعتمادًا على تقنيات الصبغ، فُهرِس وخُطِّط كل ركن وشق من اللحاء. وأشهر

هذه الخرائط خريطة عالم الأعصاب الألمانى كوربينان برودمان[٢] الذى حدد، فى سنوات ما قبل الحرب العالمية الأولى، المناطق الجغرافية فى لحاء المخ البشرى، ورقَّمها من ١ إلى ٥٢، طبقًا للتسلسل الذى درسها به (الشكل ٧ـ١). تستخدم بعض هذه الأقسام حتى اليوم، مع أن معظمها، مثل الحدود السياسية فى سالف الزمان، تغير أو انشطر، اعتمادًا على معايير فسيولوجية لم تكن متوافرة فى زمنه وبمعاونة أصباغ الأيض (عوامل كيميائية تقبلها بشكل متميز مجموعات من الخلايا اعتمادًا على نشاطها). لكنها حافظت على فائدتها باعتبارها علامات جغرافية، أشبه بلافتة "منطقة المسرح" تعبيرًا عن حى فى البلدة.[٣]



الشكل ٧ ـ ١ تقسيم برودمان للحاء الجديد فى مخ الإنسان: على أساس اختلافات دقيقة غالبا فى كثافة تجمع الخلايا، ومظهرها ونسيجها فى المادة السنجابية، قسم برودمان اللحاء إلى مناطق محددة، وميز كل منطقة برقم. معدل عن Brodmann, 1914.

يُمثِّل لهذه العملية المستمرة لتجزىء نسيج الدماغ بالمناطق البصرية فى الخلف، المحيطة بمنطقة برودمان ١٧ (تناظر اللحاء البصرى الأولي المحدد فسيولوجياً). تحتوى منطقة برودمان ١٨، جزء من منطقة تعرف باسم اللحاء خارج المنطقة المخططة،(٤) على أربع مناطق بصرية منفصلة على الأقل. يتضمن مثل هذا التقسيم، إذا كان صحيحا لكل مناطق برودمان، أكثر من مائة مجال لحائى.

هل لهذه التقسيمات الفرعية علاقة بعمل اللحاء، أم أنها تفاصيل بلا معنى، مثل تلوين رقع على لحاف؟ ثمة اعتقاد راسخ بعمق بين علماء الأحياء بأن هذه البنية على علاقة وثيقة بالوظيفة. أى إن الاختلافات فى البنية تنعكس فى الاختلافات فى الوظيفة والعكس بالعكس. لأجزاء الجسم التى تبدو مختلفة بشدة وظائف متميزة. وبالمثل فى النسيج العصبى. إذا زادت كثافة التجمع الخلوى، أو تغيرت درجة الميلين، أو بدأت بعض الإنزيمات فى الظهور، فمن المرجح أن الحدود الوظيفية تم عبورها.

يبدو الارتباط بين البنية والوظيفة بوضوح شديد فى أجهزة الكمبيوتر. العين المدرَّبة لمصمِّم الدوائر يمكن أن تميز دثائر المُدخَل والنتاج، وذاكرة التخزين الأولية والثانوية، وحافلة المعمار،(٥) ووحدة الحسابات المنطقية، والسجلات، والبنى الأخرى فى رقاقة المعالج، ولكل منها وظيفة مميزة.

٧ ـ ٢ يحتوى اللحاء على بنية متدرجة هرميا

حتى سبعينيات القرن العشرين، ساد على نطاق واسع اعتقاد بأن اللحاء البصرى لا يضم سوى بضعة أقسام فرعية مرتبطة بتسلسل تصاعدى. تطورت هذه الصورة الصريحة، مدفوعة إلى الأمام ببحث واعد لجون ألمان Allman وجون كاس Kaas على قرود العالم الجديد، واستكشاف زكى للحاء خارج المنطقة المخططة فى قرود العالم القديم،(٦) إلى شىء أكثر تعقيداً بكثير. حيث إن الأرض المجهولة خارج المناطق الحسية الأولية تسمى عادة ببساطة لحاء الارتباط association cortex لأنه لم يكن يعرف إلا القليل عن وظيفتها)، حدَّد هذا الجهد البحثى المستمر ـ وتُذكَر ثماره بالتفصيل فى الفصل التالى ـ خصائصها الفسيولوجية وقسَّمها إلى مجالات ذات وظيفة مشتركة.

السؤال الذى يطرح نفسه، ما العلاقة الدقيقة بين هذه المناطق كلها؟ هل تكشف الارتباطات بين مختلف المناطق شيئًا عن المعمار المستخدم على نطاق واسع؟ ومع ذلك، تصنع الألياف اللحائية - اللحائية كتلة من المادة البيضاء تحت اللحاء. ينبغى أن تجعل دراسة من أين تأتى وإلى أين تذهب من الممكن تحديد إن كانت كل منطقة مرتبطة بكل منطقة أخرى، أم كل المناطق ملقاة معًا بشكل عشوائى، أم يمكن تمييز نوع من النظام المتدرج هرميا.

تؤدى الارتباطات الأمامية وارتباطات التغذية

الرجعية إلى تدرج هرمى

لاحظ عالِما تشريح الجهاز العصبى كاتلين روكلند وديباك باندا[٧] أن الارتباطات بين المناطق اللحائية تنقسم إلى مجموعتين على الأقل. كانت لديهما بصيرة ليفترضا أنها تكون مسارات أمامية ومسارات تغذية رجعية لتدفق المعلومات. دار التصنيف حول الدور الحاسم للطبقة الرابعة. ونتذكر من الفصل الرابع أن الطبقة الرابعة داخل اللوح اللحائى الذى يكون اللحاء البصرى الأولي الموضع الذى تنتهى فيه كتلة المُدْخَل الشبكى الركبى retino-geniculate. عمومًا، الطبقة الرابعة المتطورة جدا علامة مميزة لأية منطقة حسية.

يعتبر الارتباط بين منطقتين لحائيتين **صاعدًا**، أو **أماميا** إذا انتهت المحاور فى الطبقة الرابعة أساسًا. ويصح هذا خاصةً إذا كانت أجسام الخلايا العصبية الممتدة التى تخرج منها هذه المحاور موجودة فى الطبقتين السطحيتين الثانية والثالثة. تتجنب محاور الارتباط **الهابط**، أو ارتباط **التغذية الرجعية**، الطبقة الرابعة، وتستهدف الطبقات العليا (وخاصة الطبقة الأولى، الطبقة الأكثر سطحية) وأحيانا الطبقة السادسة (الطبقة الأكثر عمقا). توجد عادة أجسام الخلايا العصبية الهرمية التى تقدم محاور التغذية الرجعية فى الطبقات العميقة.

استنبط جون مونسل Maunsell ومشرفه على الدكتوراه، ديفيد فان إسن Van Essen، أثناء العمل فى معهد كاليفورنيا للتكونولوجيا، من هذه الأنماط التشريحية فرضية صريحة لنظام التدرج الهرمى. إذا وضعنا القواعد الصفائحية

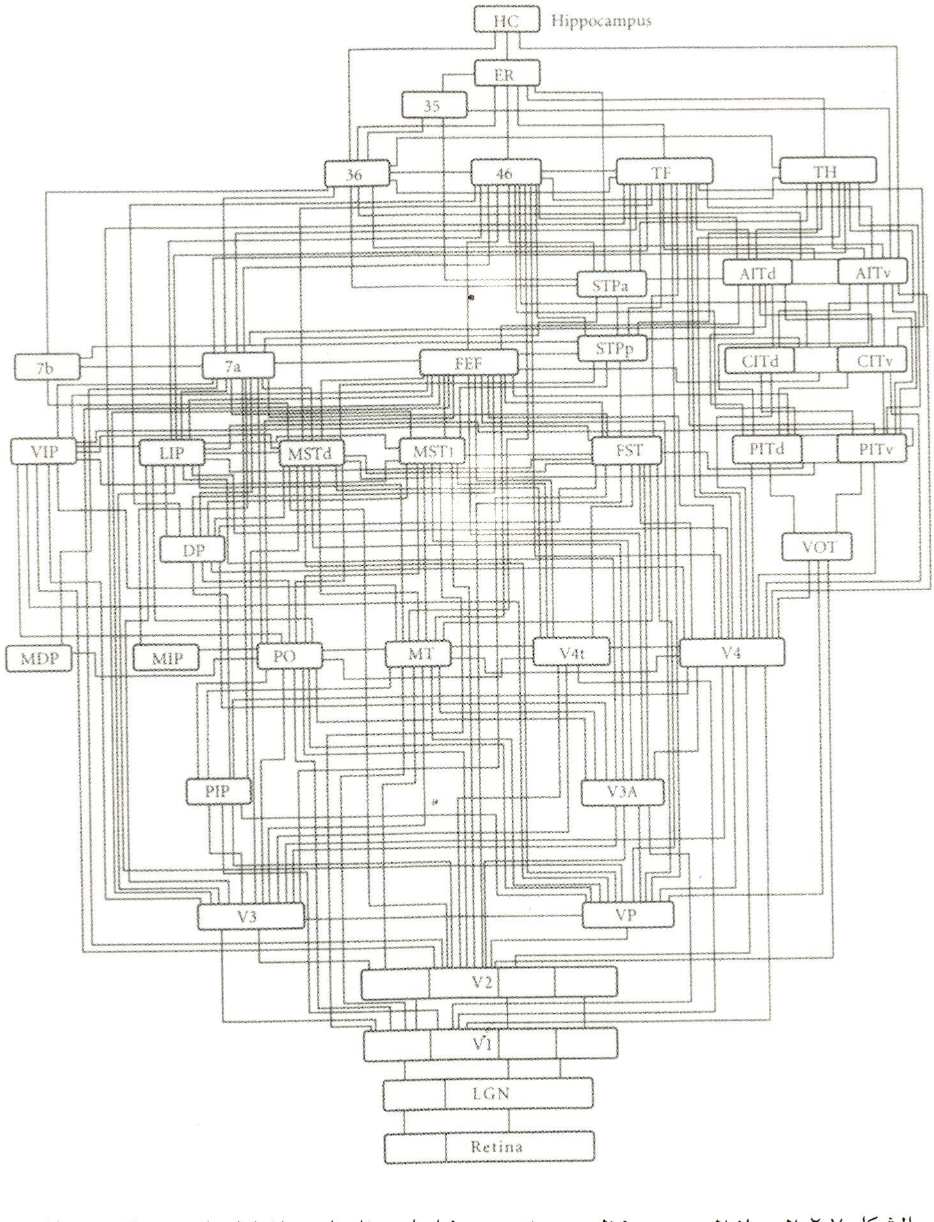
لروكلند وباندا فى الاعتبار، يمكن تحديد الوضع النسبى لأية منطقة فى التدرج الهرمى. إذا كانت المنطقة A^2 تستقبل مُدّخلا أماميا فى طبقتها الرابعة من A^1 وتمتد، عن طريق طبقاتها السطحية، إلى المنطقة A^3، فلابد أن A^1 تحت A^2 التى لابد أن تكون، بدورها، تحت A^3.

منطقة انتهاء المحاور التى تقدم معلومات التغذية الرجعيــة من مستوى أعلى إلى مستوى أدنى أكثر انتشارا من تلك الخاصة بالخلايا العصبية الممتدة إلى الأمام، صانعةً تماسا مشبكيا مثيرًا مع مجموعة أكبر من الخلايا العصبية.(٨)

بجانب الروابط الصاعدة والهابطة، توجد ارتباطات جانبية أيضًا، تزاوج مناطق لحائية فى المستوى ذاته من التدرج الهرمى (أى من كل الطبقات باستثناء الطبقتين الأولى والرابعة) ويمكن أن تنتهى فى عرض العمود اللحائى فى المنطقة المستقبِلة.

بوضع هذه القواعد فى المكان المناسب، أخذ ما بدا من قبل خليطًا من الفوضى فى الارتباطات اللحائية- اللحائية ما يشبه النظام. وسَّع دانيال فيلمان Felleman وفان إسن النسخ المبكرة من نظام التدرج الهرمى. تشبه الخريطةُ التنظيمية الناتجة، بدستة مستويات (الشكل ٧-٢)، متاهةً من أنابيب البخار فى مبنى صناعى قديم؛ معقدة بشدة، بعدد هائل من المسارات الجانبية، والطرق المختصرة، وإضافات تبدو عشوائية. ورغم تعقد الارتباطات، لا تتحدث كل منطقة مع كل منطقة أخرى. لم يُسجَّل فى الحقيقة إلا حوالى ثلث كل الارتباطات المحتملة بين المناطق.(٩)

مثل مجموعة دمى روسية كل منها داخل الأخرى، يمثل كل صندوق من الصناديق المستطيلة فى الشكل ٧-٢ شبكة عصبية واضحة فى حد ذاته، مع عدد هائل من البنى الفرعية. تتواصل منشأتان من منشآت أنابيب البخار هذه، النصف الأيسر والنصف الأيمن من دماغك، معا بكثافة بعشرات الملايين من ألياف الجسم الجاسئ، وتعبآن فى جمجمة واحدة. تعمل أشكال مماثلة من التدرج الهرمى فى الحواس الحسية الجسمية والسمعية.



الشكل ٧ـ٢ **الجهاز البصرى منظم جيدا:** حدد فيلمان وفان إسن المناطق البصرية فى دماغ القرد فى تدرج هرمى مخطط جدا، يترابط بمئات الروابط، معظمها تبادلى. تمتد هذه الشجرة المتنامية، مغروسة فى الشبكية، بعمق إلى البنى الجبهية والحركية. لبعض التفاصيل، انظر الهامش ٩ فى هذا الفصل والصورة الأمامية. معدلة عن Fellman and Van Essen, 1991؛ Saleem et al., 2000.

ماذا يعكس هذا التدرج الهرمى؟

لا يبدو التدرج الهرمى الذى كشفته هذه القواعد الصفائحية كاملا. بكلمات فيلمان وفان إسن، ثمة أشياء شاذة ومتنوعة.

> تثير مسألة إن كان اللحاء بشكل متأصل ليس إلا بنية "شبة متدرجة هرميا" تحتوى على عدد مهم (ربما ١٠٪) من الأشكال الشاذة والاستثناءات الحقيقية عن أية مجموعة معايير يمكن استنباطها. بشكل بديل، ربما يحتوى اللحاء البصرى على تدرج هرمى مكتمل بشكل جوهرى دُرِس بشكل غير دقيق بمناهج فى التحليل التشريحى "مشوشة" بشكل متأصل.

ربما لا يكون التدرج الهرمى فريدًا، بمعنى أن الكثير من البنى التنظيمية يمكن توليدها بحيث تقنع القيود الارتباطية التشريحية نفسها وتُنقَّح أكثر بمستويات إضافية.[١٠]

رغم بعض أوجه التماثل بين الشكل ٧ـ٢ وتنظيم خريطة جامعة أو شركة، لا يراقب رئيس أو مدير تنفيذى هذا الكيان. لا توجد منطقة أولمبية واحدة تنظر إلى أسفل على الجهاز البصرى كله. تمتد المناطق فى قمة الشكل إلى خارج اللحاء الحقيقى أو إلى مناطق فى الجزء الجبهى من الدماغ، ومنه إلى بنى (قبل) حركية تنفذ أوامر الدماغ. وكما يوضح زكى،[١١] ترسل كل منطقة لحائية ـ بلا استثناء ـ محاور نتاجها إلى مكان ما. لا توجد منطقة تمثل رابطة فى اتجاه واحد. وإذا وجدت، لا تكون عاملا عليًا؛ لا تتوسط وعيًا مفيدًا.

بينما يُقبَل الدليل على تنظيم هرمى على نطاق واسع فى المناطق الحسية فى مؤخر الدماغ، من غير الواضح مدى إمكانية تحديد الامتدادات الأمامية وامتدادات التغذية الرجعية اللحائية ـ اللحائية فى مقدم الدماغ. وينطبق هذا، خاصة، على الارتباطات بين المناطق اللحائية الصدغية السفلى والجدارية الخلفية ومقدم الفص الجبهى.[١٢] ألا ينبغى أن يوجد هنا تدرج هرمى معكوس ـ يعكس التدرج الهرمى الموجود فى الرؤية ـ يصل من النسق العلوى للحاء مقدم الفص الجبهى إلى المناطق الحركية الأولية؟ يتطلب الأمر مزيدًا من البحث فى هذه الأسئلة.

يحير سبب وجود التدرج الهرمى علماء الدماغ. أحد الأسباب أن هذا المعمار قد يسمح للمناطق اللحائية العليا بتحديد الارتباطات بين الخلايا العصبية فى المناطق الدنيا بسهولة. فى المستوى التالى، يمكن إذن تأسيس الارتباطات بين الارتباطات، إلخ. ويؤدى هذا إلى توضيح خصائص مجال الاستقبال (كما توصف فى الفصل التالى).

التدرج الهرمى فى الجهاز العصبى تشريحى، ولا ينعكس بالضرورة فى أشكال كُمُون الإشارات التى تتصاعد على الدرجات فى السلم اللحائى. بشكل خاص، لا تستثار فى الوقت ذاته كل المناطق فى أى مستوى بالمحفزات البصرية. وكما لاحظنا فى الفصل الثالث، تتدفق تيارات الخلايا الكبيرة والصغيرة بمعدلات غير متساوية فى اللحاء البصرى الأولي. تبقى هذه الاختلافات الزمنية دليلا فى مراحل المعالجة الأخرى، مثل أن المجالات الجبهية للعين فى مقدم الدماغ تستقبل المعلومات البصرية قبل المنطقتين البصريتين الثانية والرابعة فى مؤخر الدماغ. (١٣)

اعتبِرْ النشاط العصبى بعد حركة من حركات العين موجةً من الشوكات تنتقل فى العصب البصرى، عبر النواة الركبية الجانبية، إلى اللحاء. يمكن وضع تشابه جزئى مع الأمواج على شاطئ: تتكسر الأمواج وهى تتحرك بين الأحواض على الحافة بين المحيط والأرض؛ تنتقل بعض هذه المويجات المائية أسرع من الأخرى، اعتمادًا على عمق الحوض وعوامل أخرى. تجرى الأمور بشكل مماثل فى الدماغ. لأن للشبكات اللحائية ارتباطات قصيرة وطويلة، ربما تقفز موجة النشاط، فى بعض الحالات، على مناطق متداخلة. تنتشر الزيادة السريعة فى الشوكات الناجمة عن المحفز فى محطات بطول التدرج الهرمى البصرى دون تغيير انحدار الحافة الأمامية للموجة بشكل يمكن إدراكه. أسميها **موجة شبكية** network wave أو net-wave. بينت التجارب أن حدوث الموجات الشبكية دقيق ويمكن التعويل عليه. حتى فى أعماق اللحاء، يمكن تحديد توقيعها فى ١٠ ملى ثانية أو أقل.(١٤) أبرهن فى القسم ١٣ ـ ٥ على أن انتقال موجة شبكية إلى الأمام يمكن أن يطلق بسرعة سلوكا معقدا تماما لكنه لا شعورى (انظر أيضًا الجدول ٥ ـ ١)، بينما يعتمد الوعى على موجة قائمة بين مؤخر اللحاء ومقدمه.

الغالبية العظمى من المسارات اللحائية - اللحائية بين المناطق تبادلية. وهكذا، إذا كانت المنطقة A تمتد إلى المنطقة B، فإن B تمتد عادة عائدة إلى A. وتوجد التبادلية أيضًا فى الارتباطات المتعددة بين المهاد واللحاء، لكنها ليست عامة. تشمل الامتدادات الكبرى ذات الاتجاه الواحد العصب البصرى الذى يغادر الشبكية، والألياف النازلة من اللحاء البصرى إلى الحدبة التوأمية العليا superior colliculus، والمسار من الفصين الجبهيين إلى العقد القاعدية.

٧ - ٣ المهاد واللحاء: عناق قوى

المهاد، بنية تشبه بيضة السمّان على قمة الدماغ المتوسط، مدخل اللحاء الجديد. تطور المهاد واللحاء فى علاقة وثيقة بينهما. باستثناء حاسة الشم، تُرحَّل كل الحواس خلال المهاد فى الطريق إلى اللحاء.(١٥)

يُقسَّم المهاد إلى نوى متميزة، لكل منها قنوات المُدْخَل والنتاج والارتباطات الوظيفية الخاصة بها.(١٦) ترسل نوى خاصةٌ معلوماتٍ حسية جسدية وسمعية وحشوية visceral وبصرية إلى المناطق اللحائية ذات الصِلة.

وأفضل ما استكشف منها عموما النواة الركبية الجانبية، وتناولناها فى الفصل الثالث. ليست النواة الكبرى. وينطبق هذا التمييز على النواة المسندية pulvinar. من منظور فسيولوجى، النواة المسندية أحدث إضافة للمهاد. تبدو نواة أصغر نسبيا، لكنها محددة بوضوح فى آكلة اللحوم، تزيد باطراد فى الحجم من القردة إلى القردة العليا، حتى تصل إلى نسب كبيرة نسبيا فى المهاد. تنقسم النواة المسندية فى الرئيسات إلى أربعة أقسام بثلاث خرائط بصرية منفصلة على الأقل (ويحتمل أن تكون أكثر بكثير).(١٧) على عكس اللحاء، هذه المناطق ليست مترابطة فيما بينها. لا تتحدث النوى المهادية بعضها مع البعض كثيرا أو مع نظائرها فى النصف الآخر من الدماغ.

نتذكر من القسم ٥ - ١ أن الفقد الحاد للنوى الصفائحية فى المهاد على الجانبين يتعارض مع الاستثارة والوعى، بشكل عميق أحيانًا. يربط البحث الإكلينيكى، والتصوير الوظيفى للدماغ، والتسجيلات الكهروفسيولوجية، هذه المناطق- وبعض النوى المسندية أيضًا- بالبنية الأساسية للحذر والانتباه والسلوكيات الحركية

البصرية الموجهة، بأوضح ما يكون فى شكل حركات العين. من المرجح أن تستخدم، عند التحديق المتعمد فى أوراق الشجر لأنك ربما رأيتَ شخصا يختبئ هناك، أو فحص الطريق أمامك، قدرة هذه النوى المهادية على التحويل.[١٨]

تنقسم الخلايا العصبية فى هذه النوى اللحائية إلى فئتين، خلايا امتدادات مثيرة ترسل محاورها إلى اللحاء، وخلايا بينية موضعية كابحة. كشف صبغ المهاد لبروتينين شائعين مرتبطين بالكالسيوم وجها من أوجه معمارها كان خفيا. ترتبط امتدادات الخلايا العصبية بمنطقتين مميزتين على الأقل، اللب core والمنشأ matrix. تتجمع خلايا اللب فى مجموعات وتستهدف بدقة مناطق مستقبِلة محددة فى طبقات متوسطة من المناطق اللحائية. خلايا الترحيل الكبيرة والصغيرة فى النواة الركبية الجانبية ونهاياتها المنظمة طبوجرافيا فى اللحاء البصرى الأولي أمثلة كلاسيكية لخلايا اللب. تصل خلايا امتدادات المنشأ بشكل أكثر انتشارًا إلى الطبقات السطحية فى عدة مناطق لحائية متجاورة، وهى فى وضع مثالى لنشر النشاط المتزامن ومساعدته أو تحديد وقت إشارات مجموعات كبيرة من الخلايا. بينما ينقل اللب معلومات معينة لمستقبلاته اللحائية، ربما يساعد المنشأ على تجميع الائتلافات العصبية واسعة الانتشار التى تتوسط الجوانب متعددة الأوجه لأى مُدْرَك شعورى.[١٩]

٧ـ ٤ الارتباطات الدافعة والمعدِّلة

ثمة فرضية ضمنية بأن الارتباطات بين المناطق فى الشكل ٧ ـ٢ متماثلة كلها. لكن الحال ليس كذلك بالتأكيد.[٢٠] على سبيل المثال، يمكن لمحاور الركبية التى تنتهى فى الطبقة الرابعة استثارة وابل قوى من الشوكات فى خلايا اللحاء البصرى الأولي لنزعة المحفِّز المناسب. ودون هذا المُدْخَل، لا تتأجج هذه الخلايا. على العكس، تتوسط التغذية الرجعية من المنطقة الصدغية الوسطى إلى اللحاء البصرى الأولي ومناطق بصرية أولية أخرى تأثيرات واضحة لمجال الاستقبال غير الكلاسيكى بتعديل الاستجابة الأولية الأمامية.[٢١]

للوهلة الأولى أفكر أنا وفرنسيس فى اعتبار الامتدادات الأمامية ارتباطات دافعة قوية. تدفع بسرعة وبشكل يعول عليه خلاياها المستهدفة، مثل الامتداد من

النواة الركبية الجانبية إلى اللحاء البصرى الأولي ومنه إلى المنطقة الصدغية الوسطى. امتدادات التغذية الرجعية، مثل تلك التى تعود من المنطقة الصدغية الوسطى إلى اللحاء البصرى الأولي، تنتهى عادة فى الأجزاء البعيدة من التفريعات الشجرية للخلايا العصبية الهرمية التى توجد أجسامها فى الطبقات العميقة. يمكن لمثل هذا المُدْخل البعيد تنظيم سلوك تأجج هذه الخلايا لكن من غير المرجح أن يؤدى، بنفسه، إلى تفريغ شوكى قوى. تعدل التغذية الرجعية استجابة الخلايا المستقبلة، ضابطة قيمة الاستجابة العصبية (مكسب الخلية).

يمكن أيضًا تحديد الارتباطات القوية الدافعة (إلى الأمام) والضعيفة المعدِّلة (إلى الخلف) حين نضع فى الاعتبار الدائرة من اللحاء إلى المهاد والعكس. القاعدة العامة هنا هى أن المحور اللحائى المهادى الذى ينشأ فى الطبقة السادسة من المرجح أن يعدل الخلايا المهادية التى يستهدفها (كما هو الحال فى مسار اللحاء البصرى الأولي إلى النواة الركبية الجانبية)، بينما يتوقع أن يكون الامتداد اللحائى من الطبقة الخامسة إلى نواة مهادية قويا. بالنسبة للاتجاه العكسى، تبدو القاعدة أن للمُدْخَل المهادى إلى الطبقة الرابعة أو الجزء السفلى من الطبقة الثالثة ارتباطًا قويا عادة. (٢٢)

عند النظر إلى الارتباطات بين مناطق الدماغ بهذا الأسلوب الثنائى، تنبثق نتيجتان مثيرتان للفضول. الأولى، يبدو أنه لا توجد حلقات قوية فى الجهاز اللحائى المهادى- لا توجد مناطق مهادية أو لحائية ترتبط، بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، بشكل مرتد عن طريق امتدادات قوية. وبتعبير مختلف، لا يوجد مسار دافع من المنطقة A إلى المنطقة B (مع احتمال وجود وسائط) تقترن بمسار دافع يعود من B إلى A. ورغم عدم تحديد أجزاء عديدة من الدماغ أفترض أنا وفرنسيس أن مثل هذه الحلقات القوية لن توجد. نظن أن الارتباطات التبادلية القوية تعزز تذبذبات لا يمكن التحكم فيها، كما هو الحال فى الصرع.(٢٣) الثانى، التدرج الهرمى فى الشكل ٧-٢، للوهلة الأولى، شبكة أمامية تُعدِّلها ارتباطات التغذية الرجعية. ويصح هذا أيضًا إذا دُمِجت النوى المهادية المناسبة فى المخطط. وعلى ضوء ذلك، تتدفق المعلومات من الشبكية إلى أعلى التدرج الهرمى حتى تصل إلى قمته فى الفص الصدغى المتوسط ومقدم الفص

الجبهى؛ ومن هناك تنزل المعلومات إلى المراحل الحركية. تتخطى الطرق المختصرة هذا التدرج الهرمى وقد يتطلب الأمر مسارات التغذية الرجعية فى كثير من وظائفها.

فى المستقبل، من المهم بشكل حاسم تمييز أنواع الارتباطات طبقا لقوتها، والزمن الذى تستغرقه، وخصائص أخرى. وينبغى أن يسهل هذا فهم سلوك الجهاز. التمييز مماثل للتمييز بين القوى داخل الجزىء والقوى بين الجزيئات فى الكيمياء. القوى داخل الجزىء روابط تساهمية أو أيونية قوية تمسك الذرات أو الأيونات معًا فى الجزيئات أو البلورات الأيونية، بالترتيب. القوى بين الجزيئات، من ناحية أخرى، التفاعلات ثنائية القطب الضعيفة نسبيا (مثل الروابط الهيدروجينية وقوى فان در فالس)،[٢٤] توجد بين الذرات فى الجزيئات المتجاورة. من المستحيل فهم بنية جزىء بروتين، على سبيل المثال، إذا اعتبرت كل روابطه داخل الجزىء والقوى بين الجزيئات متساوية القوة أو متساوية الثبات.

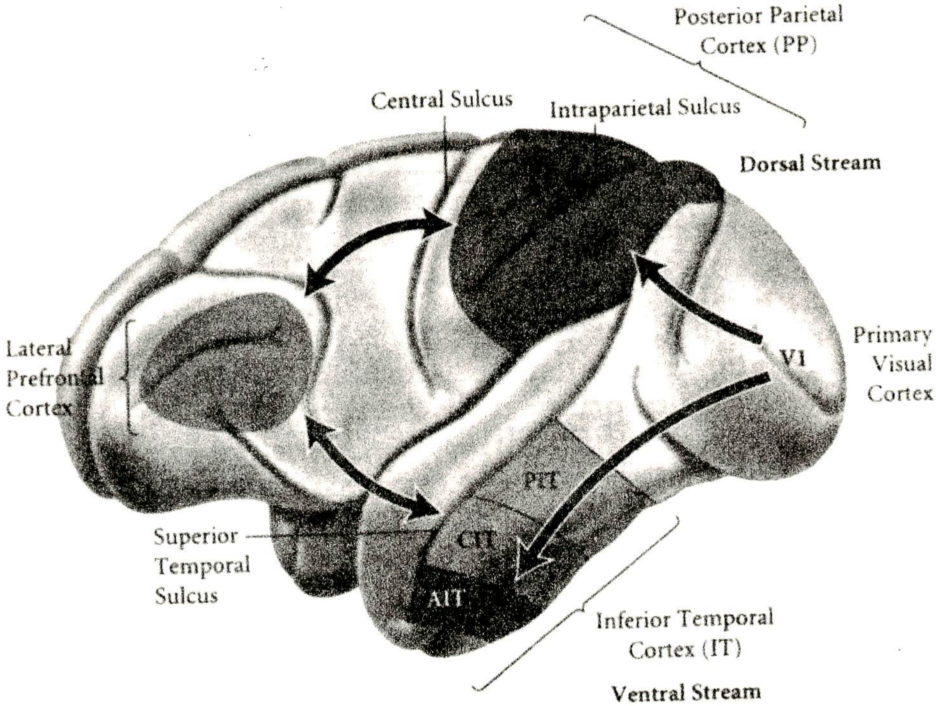
يوحى كتاب تشريح مزود بصور كثيرة بأن الكثير من المسارات (إن لم يكن معظمها) فى دماغ الإنسان وُضّحتْ وصُوِّرت. وهذا بعيد عن الحقيقة. هناك احتياج شديد لاستكشاف واسع ومستمر لتشريح الجهاز العصبى فى الإنسان.[٢٥] دون معرفة تفصيلية بشبكة دماغ الإنسان، يكون البحث عن الارتباطات العصبية للوعى بطيئا بشكل كبير.

٧ ـ ٥ المسارات البطنية والظهرية مبدأ مرشد

حدث خط فاصل فى التفكير فى الدماغ البصرى فى أوائل ثمانينيات القرن العشرين، حين افترضت لسلى أنجرليدر Ungerleider ومورت ميشكين Mish-kin فى المعهد القومى للصحة الذهنية خارج واشنطون، حى كولومبيا، أن الرؤية فى اللحاء الجديد تتقدم بطول طريقين لحائيين منفصلين. اعتمد برهانهما على توليفة من البيانات التشريحية والفسيولوجية العصبية والإكلينيكية.

وتمثل الأساس فى نتائج تجارب قورنت فيها القدرات البصرية للقرود المصابة بتلف الفص الصدغى السفلى بقدرات قرود بلحاء جدارى خلفى مُدمَّر (الشكل ٧-٣). عانت القرود المصابة بتلف الفص الصدغى السفلى، ولم تعانِ القرود ذات

اللحاء الجدارى الخلفى المدمر، من صعوبات فى التمييز بين الأشياء بالرؤية. من ناحية أخرى، لم تستطع القرود ذات اللحاء الجدارى الخلفى المدمر، لا القرود المصابة بتلف الفص الصدغى السفلى، تنفيذ المهام الحركية البصرية، مثل لمس هدف بصرى أو الوصول إلى شق. بتعزيز من بيانات من مرضى الجهاز العصبى المصابين بتلف موضعى فى الدماغ، استنتجت أنجرليدر وميشكين أن الفص الصدغى السفلى يحتوى على دائرة متخصصة فى تمييز الأشياء والتعرف عليها بينما الفص الجدارى الخلفى ضرورى لحساب العلاقات المكانية لتوجيه العين أو الطرف إلى هدف.[٢٦] دعمت دراسات التصوير الوظيفى فيما بعد تمييز أنجرليدر وميشكين، ويمثل الآن حجر الزاوية فى علم الأعصاب البصرى.



- بيانات الرسم:

اللحاء الجدارى الخلفى: Posterior Parietal Cortex

الثلم الجدارى: Intraparietal Sulcus

التيار الظهرى: Dorsal Stream

الثلم المركزى: Central Sulcus

اللحاء البصرى الأولي: Primary Visual Cortex

اللحاء الصدغى السفلى: Inferior Temporal Cortex

التيار البطنى: Ventral Stream

الثلم الصدغى العلوى: Superior Temporal Sulcus

اللحاء الجانبى لمقدم الفص الجبهى: Cortex Lateral Prefrontal

- الشكل ٧ ـ ٣ **تيارا المعلومات البصرية**: اكتشفت أنجرليدر وميشكين أن تدفق المعلومات ينقسم فى اللحاء البصرى الأولي إلى رافدين يتحدان مرة أخرى فى اللحاء الجانبى لمقدم الفص الجبهى. بينما يعالج التيار البطنى أو تيار **الرؤية للإدراك** شكل المعرفة وموضوعها، يحمل التيار الظهرى أو تيار **الرؤية للفعل** المعلومات المكانية لتحديد موضع الأهداف وتنفيذ الأفعال الحركية. معدلة عن N.Logothetis .

يتحدث علماء الأعصاب اليوم عن تيارين من المعلومات، البطنى والظهرى، يتباعدان فى اللحاء البصرى الأولي، يتقاربان مرة أخرى فى اللحاء الجانبى لمقدم الفص الجبهى. يمر التيار البطنى خلال المنطقتين البصريتين الثانية والرابعة إلى الفص الصدغى السفلى، ويمتد من هناك إلى اللحاء البطنى الجانبى لمقدم الفص الجبهى. وهذا المسار مسئول عن تحليل الشكل والمحيط واللون، وعن اكتشاف الأشياء وتمييزها. وُرِّط اللحاء الصدغى السفلى والمناطق المرتبطة به فى الإدراك البصرى الشعورى، وهو ادعاء نوضحه فى الفصل السادس عشر. يتحرك المسار الظهرى من اللحاء البصرى الأولي خلال اللحاء الصدغى المتوسط إلى اللحاء الجدارى الخلفى. ومن هناك يرسل امتدادا بعيدا إلى اللحاء الظهرى الجانبى لمقدم الفص الجبهى. تهتم خلايا اللحاء الجدارى الخلفى بالفضاء والحركة والعمق. حين تحتاج عين أو طرف حركة لاختيار هدف من أهداف كثيرة، تتورط الخلايا العصبية فى اللحاء الجدارى الخلفى. يعالج التيار الظهرى الإشارات المكانية البصرية الضرورية لوصول العين أو اليد أو الذراع وتوجيهها (أى للفعل). يسمى التياران البطنى والظهرى مسارى ماذا وأين أو مسارى الرؤية للإدراك والرؤية للفعل، على التوالى.

للتيارين البطنى والظهرى كثير من الارتباطات التقاطعية المباشرة. تقع بعض المناطق، خاصة فى اللحاء الصدغى العلوى وحوله، فى السطح البينى بين المسارين وتستعصى على أى تقسيم بسيط.(٢٧)

٧ ـ ٦ لحاء مقدم الفص الجبهى: موضع التنفيذ

بينما يعالج كل اللحاء الجديد خلف الثلم المركزى، تقريبًا، المُدْخل الحسى والإدراك، يهتم الفصان الجبهيان، الامتداد الكبير من اللحاء الجديد أمام الثلم المركزى، بالفعل. ينتمى اللحاء الحركى وقبل الحركى ولحاء مقدم الفص الجبهى ولحاء المطوقة الأمامية تنتمى كلها للفصين الجبهيين (انظر الصورة الأمامية والشكل ٧ ـ ٣). ووظيفتها توجيه النتاج الحركى وضبطه وتنفيذه، مثل حركات الهيكل أو حركات العين، والتعبير عن الانفعالات، والكلام، أو الحالات الذهنية الداخلية (كما فى عمليات التفكير اللاشعورى: انظر الفصل الثامن

عشر). والكائنات تتطور، يزداد تعقد أفعالها وتمتد أهدافها فى المكان والزمان، ويقل اعتمادها على الدافع الغريزى ويزيد اعتمادها على الخبرة السابقة والبصيرة والمنطق. ويتطلب هذا التخطيطَ واتخاذَ القرارات فى بيئات متقلبة، والتحكمَ المعرفى، والتذكرَ والتخزينَ المباشر للمعلومات، وحسَّ الإبداع. وهذه الوظائف التنفيذية رفيعة المستوى، يقوم بها لحاء مقدم الفص الجبهى وحده.

يعرَّف لحاء مقدم الفص الجبهى، الجزء الأمامى من لحاء المخ، بأنه مناطق الاستقبال اللحائى لمحاور من امتداد الخلايا العصبية فى النواة المهادية الظهرية المتوسطة. يزداد لحاء مقدم الفص الجبهى بشكل كبير مع التطور العِرْقى.[٢٨] ويرتبط على نطاق واسع بشبكة تبادلية مع اللحاء قبل الحركى، والجدارى، والصدغى السفلى، والصدغى المتوسط، وقرن آمون، واللوزة. لكنه، مع ذلك، لا يرتبط مباشرة باللحاء الحسى الأولى أو باللحاء الحركى الأولى. لحاء مقدم الفص الجبهى المنطقة الوحيدة فى اللحاء الجديد التى تتحدث مباشرة مع ما تحت المهاد hypothalamus، المسئول عن إفراز الهرمونات. مناطق مقدم الفص الجبهى بالتالى فى وضع بارز لدمج المعلومات من كل المناطق الحسية والحركية. ومن وظائفها الأخرى تخزين المعلومات قصيرة المدى والمباشرة ذات الصلة بالكائن. وأتناول هذه النقطة فى الفصل الحادى عشر.

يرتبط الفصان الجبهيان ارتباطًا حميما بالعقد القاعدية، بنى كبيرة تحت اللحاء وتشمل الجسم المخطط والكرة الشاحبة globus pallidus. تتوسط هذه المناطق القديمة الحركات الهادفة، وسلاسل من الأفعال الحركية أو الأفكار، والتعليم الحركى. فى الفقاريات التى بلا لحاء أو بلحاء غير متطور، تمثل العقد القاعدية أهم مراكز مقدم الدماغ.

ترسل الخلايا العصبية فى الطبقات العميقة من اللحاء محاورها مباشرة إلى الجسم المخطط. عن طريق محطات وسيطة تشمل المهاد، تمتد العقد القاعدية عائدة إلى اللحاء.[٢٩] تتأثر العقد القاعدية بعنف فى اضطرابات مثل مرض باركنسون ومرض هانتنجتون Huntington، المرتبطين بعيوب حركية شديدة، تصل إلى حد فقدان الحركة.[٣٠]

٧ ـ ٧ الملخص

قدم هذا الفصل بنيتين تشريحيتين أخريين مهمتين للبحث عن الارتباطات العصبية للوعى ـ المهاد ولحاء مقدم الفص الجبهى ـ وأيضًا ثلاثة مخططات تنظيمية عريضة لفهم عدد هائل من نوى المهاد ومناطق اللحاء.

ثمة مبدأ عام للمخططات المعمارية اللحائية وهو تصميمها المتدرج هرميا. اعتمادا على إشارات عن أماكن انتهاء المحاور وأماكن أجسام الخلايا التى تنبثق منها، يمكن تقسيم الامتدادات اللحائية اللحائية فى مؤخر الدماغ إلى أمامية، أو امتدادات تغذية رجعية، أو جانبية. واعتمادًا على هذا التحديد، يمكن أن تنسب المناطق البصرية إلى مستوى من اثنى عشر مستوى أو أكثر فى التدرج الهرمى لفيلمان وفان إسن. يطلق المُدّخلُ البصرى موجةً شبكية سريعة الانتشار من الشوكات، موجة تمر خلال هذه المراحل حتى تصل إلى مستجيب أو أكثر. تبقى الوظيفة الدقيقة لهذا الترتيب الهرمى ومدى اكتماله مثيرة للجدل.

على أساس التمييز بين الارتباطات القوية الأمامية وارتباطات التغذية الرجعية المعدِّلة، استنتجت أنا وفرنسيس أن اللحاء والمهاد ليسا لهما حلقات قوية قد تدفع النسيج العصبى إلى تذبذبات لا يمكن السيطرة عليها. للجهاز البصرى بما فيه النواة الركبية الجانبية والنواة المسندية، مفتقرًا لمثل هذه الحلقات، مظهر شبكة أمامية عموما يمكن أن تعدل مساراتُ التغذية الرجعية أنشطتَها.

تنتقل المعلومات البصرية خلال اللحاء فى تيارين عريضين، المسار البطنى (الرؤية للإدراك) والمسار الظهرى (الرؤية للفعل). يبدأ المساران فى اللحاء البصرى الأولي، يفترقان ويتدفقان باتجاه اللحاء الصدغى السفلى (المسار البطنى) أو اللحاء الجدارى الخلفى (المسار الظهرى). ومن هناك، يمتدان إلى أجزاء مختلفة فى لحاء مقدم الفص الجبهى، حيث يتقاربان مرة أخرى. بينما الجهاز البصرى مسئول عن الرؤية الواعية للأشكال والأشياء، يستخلص المسار الظهرى المعلومات الضرورية للأفعال الحركية المدفوعة بالرؤية.

قبل التحول إلى الاهتمام الأساسى للكتاب، يجب أن أتوسع، فى الفصل التالى، وأتناول الخصائص المميزة لنسيج اللحاء فيما وراء اللحاء البصرى الأولي وكيف يحلل المعلومات البصرية ويمثلها.

الهوامش:

(١) سيمون Simon (١٩١٦ ـ ٢٠٠١): عالم أمريكى، حصل على نوبل ١٩٧٨ (المترجم).

(٢) كوربينان برودمان Korbinian Brodmann (١٩٦٨ ـ ١٩١٨): عالم المانى (المترجم).

(٣) أوصى بالدراسة القصيرة Braak, 1980 باعتبارها مادة أساسية عن خرائط تشريح لحاء مخ الإنسان. لا ينبغى إغراء المرء بالشكلين ٧-١، ٧-٢ للاعتقاد بأن الحدود بين المناطق اللحائية محددة بصرامة. يمكن أن تكون غامضة تماما، مع مقاطعات انتقالية معقدة.

(٤) يضم اللحاء خارج المنطقة المخططة فى الرئيسات المناطق البصرية الثانية والثالثة والرابعة، والمنطقة الصدغية الوسطى (المنطقة البصرية الخامسة)، والمنطقة البصرية DP (المترجم).

(٥) حافلة المعمار bus architecture: الحافلة فى معمار الكمبيوتر جهاز فرعى ينقل البيانات بين محتويات الكمبيوتر أو بين أجهزة الكمبيوتر (المترجم).

(٦) Allman and Kaas, 1971؛ Zeki, 1974؛ انظر أيضا كتابَى Zeki, 1993؛ Allman, 1999.

(٧) كاتلين روكلند Rockland: عالمة متخصصة فى تشريح الجهاز العصبى. ديباك باندا Pandya (١٩٣٢ ـ) : عالم أمريكى من أصل هندى (المترجم).

(٨) على سبيل المثال، يستقبل اللحاء البصرى الأولي والمنطقة البصرية الثانية ارتباطات تغذية رجعية واسعة الانتشار من مناطق صدغية سفلى وحول قرن آمون (Rockland and Van Hoesen, 1994 Rockland, 1997, Johnson and Burkhalter, 1997 ؛ Salin and Bullier,1995). يناقش الارتباطات اللحائية ـ اللحائية بالتفصيل.

(٩) الأبحاث الثلاثة الأساسية التى تصف هذه السلسلة من التطور Rockland and Pandya, Felleman and Van Essen, 1991 Maunsell and Vall Essen, 1983, 1979 Anderson et al., 1990 Zeki and Shipp, 1988. Barbas, 1986' Kennedy and Bullier, 1985. وافترض مخططات تدرجية مرتبطة بها أو بديلة. لمراجعة شاملة، انظر Salin and Bullier, 1995. يستنبط Young, 2002 خريطة تنظيمية للمناطق الاثنتين والسبعين كلها الموصوفة حتى اليوم فى لحاء مخ القرد. حُدِّث الشكل ٧-٢ ليعكس معلومات أفضل للمناطق والارتباطات بين المناطق السفلى والوسطى من الفص الصدغى (Saleem et al., 2000 ؛Lewis and Van Essen, 2000).

(١٠) انتقد فكرة التدرج الهرمى الفريد Hilgetag, O'Neill and Young, 1996، واستخدموا حسابات نموذجية متطورة للعثور على هذه الأشكال الهرمية، بأقل بعد عن الكمال. واستنتجوا أن الجهاز البصرى، مع حوالى ٣٠٠ ارتباط لحائى - لحائى بين ما يربو على ٣٠ منطقة فيه، متدرج هرميا بصرامة مدهشة دون أن يكون دقيقا ويتراوح عدد المستويات فى التدرج الهرمى من ١٣ إلى ٢٤ (Young, 2002).

(١١) Zeki, 1993.

(١٢) استنتج Webster, Backhevalier and Ungerleider, 1994 أن "... ربما لا تمتد القواعد المستخدمة فى تأسيس العلاقات الهرمية فى الجهازين البصرى والحسى الجسدى، ببساطة، إلى الارتباطات بمناطق الفص الجبهى." انظر أيضًا Rampel-Clower and Barbas, 2000.

(١٣) يراجع Nowak and Bullier, 1997 ؛Schmolesky et al., 1998 توقيت الإشارات عبر المناطق اللحائية.

(١٤) Bair, 1999 ؛Bair and Koch, 1996 ؛Marsálek, Koch and Maunsell, 1997. تنتشر الموجة الشبكية خلال مرحلة لحائية فى ٥-١٠ ملى ثانية.

(١٥) بصلة الشم، مستقبلة نتاج مستقبلات من الأنف، تمتد إلى لحاء الشم مباشرة. تنزل حزمة ألياف من اللحاء الأولى للشم، أقدم من اللحاء الجديد وأكثر بدائية، إلى المهاد وتصعد عائدة إلى اللحاء الثانوى للشم. تتخطى روافد لحائية أخرى المهاد ممثلة فى مسارات تعديل واسعة الانتشار إلى جذع الدماغ ومقدم الدماغ القاعدى (القسم ٥-١)، ارتباطات من اللوزة، وامتدادات من تابع صغير للحاء الجديد يسمى المنغلق claustrum.

(١٦) حين أشير إلى المهاد، أعنى المهاد الظهرى. للاطلاع على تشريح المهاد بالتفصيل، راجع العمل المهم Jones, 1985. يلخص Sherman and Guillery, 2001 خصائصه الكهروفسيولوجية.

(١٧) ترسل بعض الخلايا العقدية الشبكية محاورها مباشرة إلى النواة المسندية السفلى. تستقبل بقية المسندية مُدْخَلها البصرى عن طريق الحدبة التوأمية العليا (انظر الصورة الأمامية). ترتبط النوى الثلاث البصرية المسندية الأساسية بقوة وبشكل تبادلى مع مناطق لحائية بصرية مختلفة (منها اللحاء الجدارى الخلفى واللحاء الصدغى السفلى)، بينما تطرح الرابعة شبكتها على نطاق أوسع لتشمل الارتباطات التبادلية بمنطقة مقدم الفص الجبهى والمنطقة الجبهية المحجرية (Grieve, Acuna and Cuderio, 2000).

(١٨) كشفت دراسة من دراسات التصوير المنضبطة جيدا ارتباط الحذر الشديد، مقارنة بالراحة أو نشاط حركى عشوائى، بنشاط موضعى فى الدماغ المتوسط والنوى الصفائحية (Kinomura et al., 1996) يراجع Robinson and Cowie, 1997 تورط النواة المسندية فى تحولات الانتباه وحركات العين.

(١٩) القصة الواضحة لخلايا المهاد فى اللب والمنشأ ملخصة فى .Jones, 2002 والخلايا العصبية المخروطية فى النواة الركبية الجانبية (القسم ٢-٥) مثال لخلايا المنشأ.

(٢٠) يقدم Barone et al., 2000 مقاربة واعدة لقياس قوة الامتدادات الأمامية والخلفية.

(٢١) يوقف Hupe et al., 1998 نشاط المنطقة الصدغية الوسطى بشكل يمكن عكسه وهم يسجلون فى المناطق البصرية الأولى والثانية والثالثة. تعمل التغذية الرجعية فى المنطقة الصدغية الوسطى بطريقة الشد والجذب، معززة الاستجابة لمحفِّز مثالى فى مجال الاستقبال الكلاسيكى. فى الوقت ذاته تقلل الاستجابة للبروز المنخفض المحفزات البصرية الكبيرة بشكل كافٍ لتغطية مناطق مجالى الاستقبال الكلاسيكى وغير الكلاسيكى.

(٢٢) Ojima, 1994؛ Rockland, 1994, 1996؛ Bourassa and Deschenes, 1995.

(٢٣) افتُرِض التمييز بين الامتدادات القوية والمعدِّلة وفرضية الحلقات غير القوية فى Crick and Koch, 1998a. ربما تكون هناك استثناءات مهمة لهذه الفرضية على مستوى الخلايا العصبية الفردية.

(٢٤) قوى فان در فالس van der Waals: (تنسب للعالم الهولندى Johannes Diderik van der Waals) قوى الجذب أو التنافر بين الجزيئات، غير القوى نتيجة الروابط التساهمية أو التفاعل الكهرواستاتيكى للأيونات بعضها مع البعض أو مع جزيئات متعادلة (المترجم).

(٢٥) يقدم Crick and Jones, 1993 دعوة حماسية ملحّة لمثل هذا البرنامج. من التقنيات الواعدة لاقتفاء مسارات المادة البيضاء فى البشر الأحياء التصوير بالرنين المغناطيسى لمؤثر الانتشار (Le Bihan et al., 2001).

(٢٦) يوضع هذان التياران اللحائيان فى تقسيم تطورى أقدم للتمييز بين المراكز البصرية اللحائية وتحت اللحائية .(Ungerleider and Mishkin, 1982). يقدم كتاب Milner and Goodale, 1993 نظرة تاريخية رائعة على محاولات الإكلينيكيين وعلماء الأعصاب لفهم هذه الأشكال من التمييز. استنتج علماء النفس، حتى فى وقت مبكر، خرائط بصرية معرفية وموجهة حركيا (على سبيل المثال، Bridgeman et al., 1979).

(٢٧) المناطق على الناحية اليسرى من الشكل ٧-٢ جزء من التيار الظهرى، وتلك التى على اليمنى جزء من المسار البطنى. المناطق STPa، STPp، FST، بين الاثنين، لا يمكن أن تنسب بسهولة إلى أى منهما (Saleem et al., 2000؛ Karnath, ٢٠٠١). يحدد Ungerleider and Desimone, 1991 الامتدادات العصبية التى تربط الفص الصدغى السفلى والفص الجدارى الخلفى.

(٢٨) بينما لا يمثل لحاء مقدم الفص الجبهى إلا ٣,٥٪ من حجم لحاء السنور، يحتل ٧٪ من لحاء الكلب (ليلاحظ عشاق الكلاب)، ١٠,٥٪ من لحاء القرد، وحوالى ٣٠٪ من لحاء

الإنسان. امتداد لحاء مقدم الفص الجبهى مقارنة ببقية الدماغ لا يصح على الفصين الجبهيين عموما (Preuss, 2000). تبقى العلاقات الهرمية الدقيقة بين مناطق مقدم الفص الجبهى، وخاصة طبقات المنشأ والانتهاء لمجموعات فرعية من خلايا عصبية معينة، ملتبسة (انظر، مع ذلك، Germichael and Price, 1994). تشمل الإشارات إلى الأدبيات الإكلينيكية والعلمية عن لحاء مقدم الفص الجبهى؛ Grafman, Holyoak, and Boller (1995); Fuster, (1997): Goldberg (2001); and Miller and Cohen 2001.

(٢٩) الامتدادات بين الفصين الجبهيين والعقد القاعدية خاصة وتبادلية. تمتد المنطقة ٩ فى مقدم الفص الجبهى إلى جزء من الجسم المخطط يرسل، عن طريق محطتين وسيطتين، أليافا ترجع إلى المنطقة ٩، وتمتد المنطقة قبل الحركية ٦ إلى جزء مختلف من الجسم المخطط يتبادل فى النهاية هذا المُدْخَل.

(٣٠) فى تجربة درامية "طبيعية"، أصيب ستة من شباب كاليفورنيا من مدمنى العقاقير بكل أعراض المراحل المتأخرة الشديدة من مرض باركنسون. بوعى كامل (كما تذكروا بعد ذلك)، عجزوا عن الحركة أو الكلام. كانوا يفتحون عيونهم بالأمر، ويستغرق الأمر ٣٠ ثانية من الألم لفتحها. إذا فرد الطبيب ذراعى المريض أمامه ثم تركهما، يسترخى الذراعان ببطء ويعودان ـ فيما يزيد على ثلاث دقائق- إلى جانب المريض. قبل ذلك ببضعة أيام، تناول الستة جميعا مادة مخدرة معدة منزليا، هيروين مصنع. لسوء الحظ، كان العقار ملوثا بمادة MPTP، وهى مادة دمرت بشكل انتقائى ودائم الخلايا العصبية المنتجة للدوبامين فى عقدهم القاعدية. هؤلاء المدمنون المتجمدون، وصفوا فى كتاب رائع ((Langston and Palfreman, 1995، صنعوا تاريخا طبيا وقدموا دليلا، مرة أخرى- انظر القسم ١-٢- على أن الوعى لا يعتمد على نتاج حركى نشط.

الفصل الثامن

الذهاب إلى ما وراء اللحاء البصرى الأولي

يرى ثلاثة رهبان من الزن[1] راية معبد ترفرف. يقول الراهب الأول: "الراية تتحرك." ويقول الراهب الثانى: "لا، الرياح تتحرك." وفى النهاية يلاحظ الراهب الثالث: "العقل هو الذى يتحرك."

هاينز باجيلز[2] من "احلام العقل Dreams of Reason"

يمثل اللحاء البصرى الأولي العالم فى خرائط متعددة منخفضة الوضوح وعالية الوضوح. مما يؤكد خصائص الصورة التقليدية مثل التوجيه، وتغيرات الصورة، والمعلومات الخاصة بطول الموجة، والعمق الموضعى. لكنها ليست سوى المنطقة اللحائية الأولى من مناطق كثيرة تسهل الرؤية. عموما، يتورط ربع لحاء مخ الإنسان تقريبا فى الإدراك البصرى والسلوك الحركى البصرى.

يمكن "غلق" أى جزء من اللحاء يمكن الوصول إليه بتبريده بصفائح معدنية توضع على السطح. عند غلق اللحاء البصرى الأولي بهذه الطريقة، تقل كثيرا الاستجابات البصرية فى التدرج الهرمى البطنى. وتضعف الاستجابات فى بعض المناطق بدرجة لا تسمح حتى بتحديد مجال الاستقبال.

ومع ذلك لا تُقمَع تماما منطقة الحركة اللحائية، المنطقة الصدغية الوسطى، (القسم ٨ ـ ٢) بإخماد اللحاء البصرى الأولي. بينما يقل تفريغ خلايا اللحاء البصرى الأولي أساسًا بتبريدها، تحافظ على درجة من انتقائية الحركة. يغذى

المنطقة الصدغية الوسطى، بشكل رئيسى، رافدان ينشآن فى الشبكية. يمر أحدهما خلال اللحاء البصرى الأولي مباشرة ويصل الآخر إلى اللحاء فى مسار أكثر التفافا يتضمن الحدبة التوأمية العليا. وتتفق مع هذا الرأى ملاحظة أن إتلاف المناطق المناظرة فى كل من اللحاء البصرى الأولي والحدبة التوأمية يستبعد كل استجابة من خلايا المنطقة الصدغية الوسطى. وقد يكفى هذا المعبر تحت اللحائى لدعم السلوك الحركى البصرى اللاشعورى الضئيل فى مرضى يعانون من تدمير اللحاء البصرى الأولي (نتناول المصابين **بعمى البصر** blindsighted فى القسم ١٢-٢)، لكنه لا يكفى لتشغيل المسار البطنى المسئول عن الرؤية بوعى. [٣]

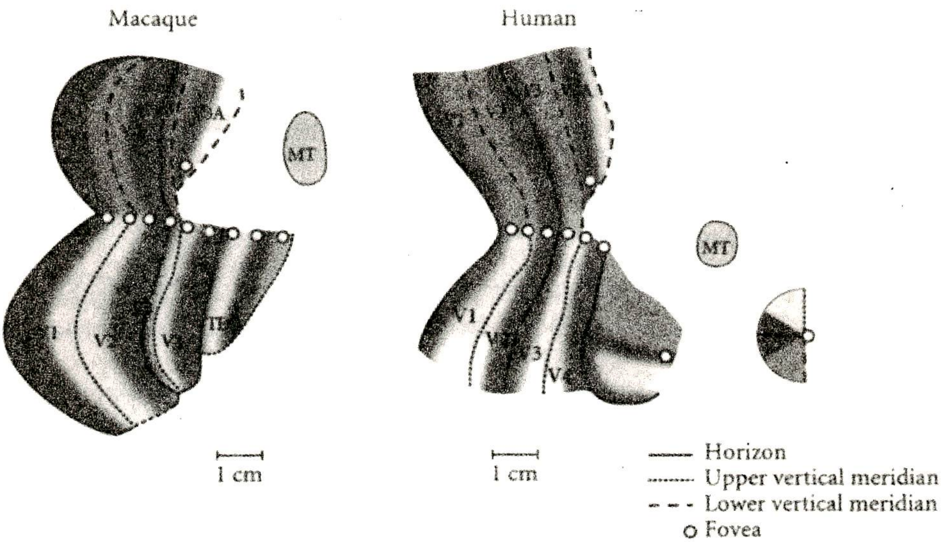
فى القسم التالى، أناقش خصائص مجال استقبال الخلايا العصبية لبعض هذه المراحل العليا من اللحاء البصرى. وهى مسئولة عن نقل معلومات الشبكية إلى إدراك واعٍ وفعل واعٍ.

٨ ـ ١ مناطق طوبوجرافية أخرى:

المناطق البصرية الثانية والثالثة والرابعة

تحيط المنطقة البصرية الثانية (V2) باللحاء البصرى الأولي وتساويه فى الحجم تقريبا (الشكل ٨ ـ ١). تمتد خلايا اللحاء البصرى الأولي بأسلوب نقطة لنقطة إلى نظائرها فى المنطقة البصرية الثانية. ونتيجة لذلك يكون للمنطقة البصرية الثانية التمثيل الطوبوجرافى المائل ذاته الموجود فى اللحاء البصرى الأولي (الشكل ٤ ـ ٢)، مع عدة خلايا عصبية تعالج الرؤية المركزية أكبر بكثير من تلك التى تعالج الرؤية الطرفية.

يمتد التخطيط بين منطقة اللحاء البصرى الأولي والمنطقة البصرية الثانية بطريقة متصلة عبر الغطاء اللحائى. ويصح هذا أيضًا فى المناطق البصرية الأعلى. لا حدود قاطعة. بدلا من ذلك، يُخطَّط العالم البصرى، عمومًا، بسلاسة فى هذه المناطق. تؤكد هذا الطرق الحديثة فى رسم الخرائط باستخدام التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى (الشكل ٨-١)؛[٤] يحتوى الفص القذالى فى الإنسان على تمثيل متعدد للعالم، مماثل للمكتشف فى القرد باستخدام الأقطاب المجهرية.

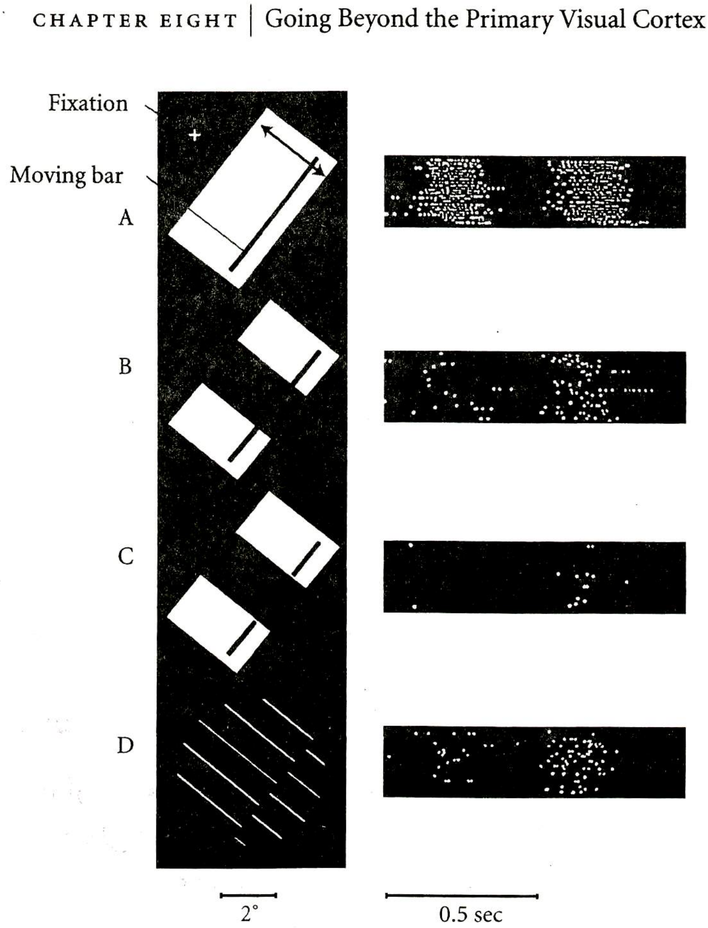


الشكل ٨ ـ ١ **تصوير سطحى للمناطق البصرية فى القرد والإنسان:** حدد التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى خرائط محددة فى الفص القذالى فى الإنسان. ما تزال أشكالها وامتداداتها فى طور الترسيخ. يوضح الشكل مناطق مماثلة من القرد الآسيوى أيضًا (لا يظهر إلا الثلثان المركزيان من المجال اللامركزى للبشر). يشار إلى صورة الشبكية بمخطط الزاوية القطبية على أقصى اليمين. كما فى ملصق طباعى، يُمثَّل العالم الخارجى مرات عديدة بالنقل والانعكاس المرآوى. الجزء الخلفى من الدماغ على اليسار. معدَّل عن Hadjikhani et al., 1998

لا دليل على شىء يشبه التحول اللافت لمجال الاستقبال، الذى يحدث فى مدخل اللحاء ـ فى طبقة المُدْخَل إلى اللحاء البصرى الأولي ـ عند الانتقال منه إلى المنطقة البصرية الثانية أو، فى هذه المسألة، عند الانتقال إلى مناطق لحائية أخرى. مجالات استقبال المنطقة البصرية الثانية أكبر من مجالات الاستقبال فى اللحاء البصرى الأولي، لكنه متوقع نتيجة تجمع العديد من خلايا اللحاء البصرى الأولي على كل خلية عصبية فى المنطقة البصرية الثانية. خلايا هذه المنطقة حساسة للعمق والحركة واللون والشكل. الكثير منها **تتوقف فى النهاية**، [٥] استجابة للقضبان أو الخطوط أو الحافات القصيرة. يتقلص نشاطها إذا صار القضيب بالغ الطول.[٦]

يمكن للحافات الوهمية تحديد شكل، مثل مثلث، لا يوجد على الصفحة (تذكر الشكل ٢-٥؟). لا تغير فى الشدة، لكنك ترى المحيط. طبقا لمبدأ النشاط، لابد أن يتأسس أى إدراك مباشر وفورى من هذا النوع فى تمثيل عصبى صريح. اكتشف روديجر فون در هيدت der Heydt وإستر بيترهانز Peterhans فى جامعة زيورخ فى سويسرا خلايا المنطقة البصرية الثانية فى القرود، خلايا تستجيب صراحةً لكل من الحافات الحقيقية والوهمية (الشكل ٨-٢). وقد تكون هذه الخلايا العصبية مهمة لتحديد الأشكال المطموسة جزئيا.(٧)

أستنتجُ، واضعا فى الاعتبار أن هذه الخلايا وخلايا أخرى فى المنطقة البصرية الثانية تمثل الحافات، محددة بالتقابل أو الحركة أو العمق أو الحدود الوهمية، أن مجموعة فرعية من خلايا المنطقة تعالج المعلومات اللازمة لتمييز الصور من خلفياتها وتحديد شكل الأشياء. تعزز البياناتِ الفسيولوجيةَ التى تتحدث عن دور المنطقة البصرية الثانية فى رؤية الشكل بأدلة سلوكية من القرود التى تُدمَّر هذه المنطقة فيها بشكل انتقائى.(٨)



الشكل ٨ ـ ٢ استجابة خلايا المنطقة البصرية الثانية للحافات الوهمية: تتعرف هذه الخلية العصبية على الحافات الموجهة، حقيقية أو متخيلة. والقرد يحدق فى علامة التثبيت، يتحرك قضيب أسود ذهابا وجيئة على خلفية ساطعة. A: تتأجج الخلية لقضيب موجه بشكل مناسب. B: حين يفقد الجزء المركزى من القضيب، تقل استجابة الخلية. C: إضافة إلى القضبان اليسرى واليمنى تمحى الحافة الوهمية وتأجج الخلية أيضًا. D: تستجيب الخلية العصبية أيضًا لحافة غريبة، يحددها اتجاه خطوط الانتهاء. الشوكات التى تستثار باندفاعات كل محفِّز يشار إليها على اليمين، مع نصفين مميزين تماما يناظران الحركة الأمامية والخلفية. معدل عن .Peterhans and von der Heydt, 1991

بجوار المنطقة البصرية الثانية مباشرة توجد منطقة بصرية ثالثة (V3)، مع تمثيل صورة مرآوية مشطورة للعالم البصرى، شطر للمجال البصرى العلوى وآخر للسفلى. وأمامها المنطقة البصرية الثالثة أ (V3A) والمنطقة البصرية الرابعة (V4) منطقتان أخريان لهما تمثيل من الشبكية خاص بهما (الشكل ٨ ـ ١). تستقبل المنطقة البصرية الرابعة المعلومات مباشرة من اللحاء البصرى الأولي، وتستقبل أيضًا امتدادات منفصلة من المنطقتين البصريتين الثانية والثالثة. ومجالات استقبالها أكبر من مجالات استقبال مُدّخَلها. ويصح هذا عموما مع تصاعد التدرج الهرمى للمعالجة البصرية. تحتفظ الخرائط فى المسار البطنى، مع ذلك، بميل للمحفزات فى النقرة fovea. وهذا هو الموضع الذى تتطلع إليه عادة.[٩]

ويستمر الحال على هذا الوضع. لا يُعرّف الكثير عن الأدوار الوظيفية المحددة التى تلعبها هذه البطانة من المناطق اللحائية فى الرؤية. توجد ملايين الخلايا العصبية ولا يوجد إلا بضعة أقطاب دقيقة للاستماع إليها!

٨ ـ ٢ إدراك اللون واللفيفة المغزلية

كما يؤكد أرثر شوبنهور،[١٠] الألوان نتاج العقل لا العالم الخارجى.[١١] يعتمد استقبال اللون على النشاط النسبى فى مجموعات مختلفة من مستقبلات الضوء المخروطية (القسم ٣ ـ ٢) ويُقيَّم نسبة إلى التوزيع الطيفى الكلى للصورة برمتها. يتحدث علماء النفس عن ثبات اللون، حقيقة أن التغيرات الكبرى فى التكوين الطيفى لمصدر الضوء لا تحدث إلى تغيرات طفيفة فى لون الأشياء. إدراك اللون مستقل إلى حد ما عن تقلبات مصدر الضوء المنير. تبدو تفاحة ناضجة بالشكل نفسه تقريبًا فى الضوء الأبيض المنبعث من البدر، أو ضوء السماء الزرقاء أو الضوء الأصفر المنبعث من مصباح متوهج. ويصح هذا رغم اختلاف تكوين طول الموجة إلى حد كبير فى الحالات الثلاث كلها.

فى سلسلة أبحاث مهمة، برهن زكى على أن المنطقة البصرية الرابعة فى القرد الآسيوى تتورط فى إدراك اللون. وأسس فرضيته على التمييز الكهروفسيولوجى لحساسية خلايا المنطقة لطول الموجة فى القرود المخدَّرة. يمثل

عدد كبير من خلايا اللحاء البصرى الأولي اللون، بدلا من طول الموجة بشكل صرف. ربما تتأجج خلية مزدوجة الخصومة كلما ارتطمت، مثلا، كمية من الضوء بموجة متوسطة الطول على مجال استقبالها، بينما تستجيب خلية المنطقة البصرية الرابعة لمنطقة الموجة متوسطة الطول فى الانتشار فى مجال استقبالها بالنسبة للتوزيع الطيفى للمحفزات فى منطقة ممتدة من مجال الإبصار كله. (١٢) لا يقتصر وجود الخلايا الانتقائية للون على المنطقة البصرية الرابعة، قد توجد فى مناطق أخرى.

فى البشر، يمكن أن يعوق التلف على طول السطح البطنى للفص القذالى والفص الصدغى، جزء من اللفيفة المغزلية (انظر الصورة الأمامية)، رؤية الألوان بشكل انتقائى. يدرك المصابون بعمى الألوان العالم باللون الرمادى، بشكل لا يختلف عن تحويل تليفزيون ملون إلى أبيض وأسود. يتلاشى إدراك الألوان، رغم بقاء الشكل والأبعاد الأخرى للرؤية.(١٣) من هذا، يستنبط زكى وجود عقدة أساسية للون فى اللفيفة المغزلية فى الإنسان.

أكد التصوير الوظيفى للدماغ أن عددا من المناطق فى هذا الجزء من اللحاء تنشط بشكل انتقائى أثناء إدراك اللون والحكم على الألوان.(١٤) ويبقى مدى وجود مناطق محددة للون بطريقة متسقة عبر الأشخاص غير مؤكد.

بشكل خادع، تبقى بعض مناطق ضبط الألوان نشطة حين يشعر الأشخاص بلون الصورة اللاحقة(١٥) فى غياب أى لون فيزيائى. إذا حدقْتَ لبعض الوقت فى لون مشبَّع، مثل الأحمر الساطع، ثم تطلعْتَ فى حقل رمادى منسق، ترى اللون المكمل له (الأخضر فى هذه الحالة). يمكن أن تسيطر الصورة اللاحقة السلبية بقوة ثم تشحب فى دقيقة. يتبع نشاط التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى فى جزء من اللفيفة المغزلية المُدْرَك، يزيد فى الاستجابة للون بعد الصورة الحقيقية ويقل إلى ما كان عليه فى وقت قصير بعد إزالة رقعة اللون المسببة للاستجابة.(١٦)

فى **الاستماع الملون**، تستدعى باستمرار كلمات أو أصوات أو موسيقى معينة ألوانا معينة. كما فى الأشكال الأخرى من السنيستشيا،(١٧) السماع الملون تلقائى،

لا إرادى، وثابت عبر سنوات كثيرة. حالة، كما اشتهرت فى "أبواب الإدراك" لألدوس هكسلى،[١٨] يكون بعض الناس محظوظين بما يكفى للاستمتاع بها طوال الحياة دون عقاقير. تستدعى مدركات اللون بكلمات تطلق نشاط الدماغ فى الجزء ذاته من اللفيفة المغزلية فيمن يشعرون بالسنيستشيا مثل المحفزات الملونة. ويجدر بالذكر أن اللحاء البصرى الأولي والمنطقة البصرية الثانية لا يستجيبان إطلاقا للتصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى أثناء السماع الملون. وهذه الملاحظات لا تعزز فقط خصوصية المنطقة المغزلية فى إدراك اللون، لكنها تعزز أيضًا ادعائى أنا وفرنسيس بأن الارتباطات العصبية للوعى باللون لا تعتمد على نشاط اللحاء البصرى الأولي.[١٩]

٨ ـ ٣ المنطقة الصدغية الوسطى

متخصصة فى معالجة الحركة

المنطقة الصدغية الوسطى قطعة صغيرة من وضع لحائى حقيقى، فى حجم ظفر الإبهام (الشكل ٧ ـ ٢، والشكل ٨ ـ ١، والصورة الأمامية). تتفاعل بشكل لافت مع الحركة. كل خلاياها باستثناء عدد ضئيل تفضل محفزات تتحرك فى اتجاه معين، مع معدل تأجج للحركة فى الاتجاه المفضل يبلغ فى المتوسط عشرة أضعاف معدل التأجج فى الاتجاه المضاد. تحافظ الخلايا العصبية على هذه الانتقائية فى مجال كبير من السرعات، وأحجام المحفزات، والأوضاع.[٢٠] باختصار، تمثل المنطقة الصدغية الوسطى بعض أشكال محفز الحركة بطريقة صريحة.

تستجيب المنطقة الصدغية الوسطى

للحركة الحقيقة والوهمية

حتى بضع سنوات مضت، لم يكن تحديد المنطقة الصدغية الوسطى ممكنًا إلا فى الجثث.[٢١] لكن مع ابتكار التصوير بالرنين المغناطيسى، يحدد موضعها فى الأحياء بشكل روتينى على أساس استجابتها الخاصة لنقط أو حواجز متحركة أو دوائر متمددة.[٢٢]

ماذا يحدث فى المنطقة الصدغية الوسطى حين تفكر فى شىء يتحرك، ولا شىء يحدث بالفعل، كما فى وهم الشلال؟ هل ينشط ذلك أيضًا هذه المنطقة؟ إذا حدقْتَ مباشرة فى شلال لدقيقة ثم إلى الأرض الثابتة بجواره، تشعر بإحساس غريب بأن الأشجار والصخور تتحرك باتجاه السماء. طريقة أخرى لإحداث التأثير اللاحق للحركة أن تحدق، لدقيقة أو نحو ذلك، فى مركز قرص يلف مع لوالب مطلية على القمة. إذا نظرْتَ بعد ذلك إلى وجه صديق، تجده يتلوى وينثنى فى الاتجاه المعاكس. وترى حتى سمات تتحرك على الوجه، رغم عدم تغير وضعها! كيف يحدث هذا؟ تتضمن الحركة إزاحة، وينبغى أن يكون هذا مستحيلا فيزيائيا. لكن فى دماغ بعمليات محددة لتشفير الوضع والحركة لا يكون ذلك مثيرا للدهشة.

ما سبب وهم الشلال؟ تعود الخلايا التى تمثل الحركة فى الاتجاه إلى أسفل إلى وضعها بعد مشاهدة طويلة للمياه المتساقطة؛ تضعف استجابتها للمُدْخَل المستمر ذاته. ولا تتكيف الخلايا العصبية المشفرة للحركة إلى أعلى، لأنها لا تستجيب للمياه المتساقطة إلى أسفل. ينتج إدراك الحركة عن التفاعل التنافسى بين مجموعات من الخلايا العصبية تمثل الاتجاهات المتضادة للحركة، التى تشفر الحركة إلى أسفل والتى تشفر الحركة إلى أعلى. النتيجة النهائية للرؤية الممتدة لحركة اختلال التوازن لصالح الحركة فى الاتجاه المضاد. اكتشفت الركيزة العصبية للحركة الوهمية بالتصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى ويوضح رقة السطح بين العقل والجسد، كما تعكسه العبارة التى أصدر بها هذا الفصل.(٢٣)

.الفقد الانتقائى لإدراك الحركة

ماذا يحدث إذا دُمِّرتْ المنطقة الصدغية الوسطى؟ فى القرد، يسبب تلفٌ صغير عيوبًا طفيفة سريعة الزوال فى القدرة على الحكم على سرعة محفز متحرك أو اتجاهه، بينما يترك فقدُ المنطقة كلها الحيوانَ بخلل دائم فى إدراك الحركة. وهو ما يصح على البشر أيضًا.

ل. م. مريضة بمرض فى الأعصاب، توضح بشكل مذهل الطبيعة المميزة جدا لعيوب الإدراك التى يمكن ملاحظتها. فقدت المنطقة الصدغية الوسطى ومناطق

أخرى مجاورة على جانبى دماغها نتيجة اضطراب فى الأوعية الدموية. وهذا الاضطراب نادر الحدوث يسبب عمى رهيبا للحركة أو، باستخدام مصطلح زكى، akinetopsia. طبقا للتقرير الأصلى:

> عانت، على سبيل المثال، من صعوبة فى صب الشاى أو القهوة فى كوب لأن السائل بدا متجمدًا، مثل الجليد. إضافة إلى ذلك، كانت لا تستطيع التوقف عن الصب فى الوقت المناسب لأنها لا تدرك الحركة فى الكوب (أو القدْر) والسائل يرتفع. إضافة إلى ذلك، اشتكت المريضة أيضًا من صعوبات فى متابعة حوار لأنها لا ترى حركات وجه المتكلم، وخاصة فمه. فى غرفة يتحرك فيها أكثر من شخصين آخرين تشعر بعدم الأمان وبأنها ليست على ما يرام، وتترك الغرفة على الفور عادة، "لأنه الناس غيروا أماكنهم فجأة ولا أراهم يتحركون". وتشعر المريضة بالمشكلة نفسها وربما بشكل أكبر فى الشوارع أو الأماكن المزدحمة، وتتجنبها أيضًا قدر المستطاع. كانت لا تستطيع عبور الشارع لعجزها عن تقدير سرعة السيارة، وتحدد السيارة نفسها بلا صعوبة. "وأنا أتطلع إلى السيارة أولا، تبدو بعيدة جدا. وبعد ذلك، حين أريد عبور الطريق، تكون السيارة قريبة فجأة". تعلمتْ تدريجيا "تقدير" مسافة حركة المركبات عن طريق الصوت حين يصبح أعلى.

كانت ل. م. تستنبط حركة الأشياء نتيجة وضعها النسبى فى الزمن، لكنها لم تر الحركة قط. مع ذلك، تدرك اللون والشكل بصورة طبيعية، وتحدد المكان بدقة، ويمكنها تحديد الأضواء المرتجفة. كأنها تعيش فى عالم مضاء بلمبة استروبوسكوبية،[٢٤] بشكل لا يختلف عن ديسكو يُرى فيه الراقصون بوضوح، لكنهم يبدون متجمدين، بلا حركة؛ أو مثل مشاهدة فيلم بطىء جدا، تظهر فيه الأطر الفردية، وهى ملاحظة أساسية أعود إليها فى الفصل الخامس عشر.[٢٥]

ارتباط خلايا المنطقة الصدغية الوسطى بقرارات الإدراك

حفزت مثل هذه الملاحظات دراسة كلاسيكية عن كيفية ارتباط تأجج الخلايا العصبية الفردية بالسلوك. تَصوَّرَ هذه التجارب وقام بها علماءُ بيولوجيا الأعصاب وليم نيوسم Newsome فى جامعة ستانفورد، وأنطونى موفشون Movshon فى جامعة نيويورك، وآخرون.[٢٦]

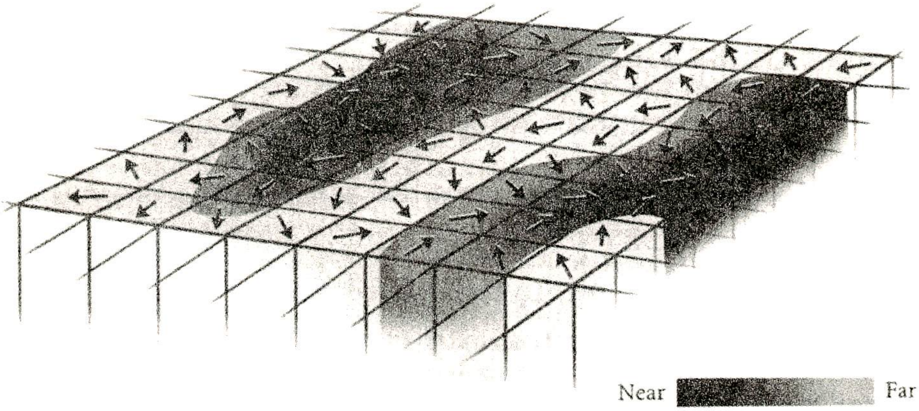
دُرِّبَتْ قرودٌ على تحديد اتجاه نقط متحركة - على سبيل المثال، تنتقل إلى أعلى أم إلى أسفل ("الإشارة") - مطمورة فى غيمةٍ دوامةٍ من النقط تندفع فى كل الاتجاهات ("الصخب"). حين زاد الصخب، مخففاً إشارةَ الحركة، صارت المهمة أكثر صعوبة وارتكب الحيوان أخطاء أكثر بكثير. فى حالة محددة بلا إشارة، تتحرك كل نقطة فى أى اتجاه، مكونة مظهرا بصريا لشاشة تليفزيون تحول إلى محطة توقف إرسالها. سجل القائمون بالتجربة معدل تأجج الخلايا العصبية الفردية فى المنطقة الصدغية الوسطى والحيوان يقوم بالمهمة. على أساس تحليل رياضى لاتجاه الإشارة، استنتج الباحثون علاقة كمية بين اختيارات الحيوان ومعدل تأجج هذه الخلايا فى ثانيتين فى المتوسط. عموماً، استخلصت الخلايا والحيوان إشارة الحركة الضعيفة من المحفز الصاخب. أى إن ملاحظًا ماهرًا فى الرياضة يعرف عدد شوكات أفرغتها خلايا فردية استجابة لفيلم طوله ثانيتين يمكن أن يستنبط، فى المتوسط، اتجاه حركة إشارة بالضبط كما يستطيع الحيوان.

حتى حين كانت الإشارة مغمورة كلها تقريبا فى الصخب، استطاع الحيوان تحديد اتجاه الحركة أفضل حتى من الإشارات المفردة (حيث تتحرك الإشارة فقط إلى أعلى وإلى أسفل، ينبغى لاستراتيجية حدس نقى تقديم الاستجابة الصحيحة- والمكافأة المثمرة- فى نصف المحاولات كلها). بالنسبة لإشارة حركة معينة، اختلفت استجابة الحيوان بشكل عشوائى من محاولة إلى أخرى؛ وتذبذب بالمثل عدد الشوكات المنبعثة من خلية المنطقة الصدغية الوسطى. إذا كانت هذه الخلايا متورطة عرضًا فى سلوك الحيوان- وربما فى حركة المُدْرك المسئول- ينبغى أن يختلف السلوك بالاشتراك مع معدل التأجج فى العروض المتكررة. وهذا

بالضبط ما وجده نيوسم Newsome وزملاؤه. حين استجابت خلية بعدد من الشوكات يفوق المتوسط، مال القرد لاختيار اتجاه الحركة الذى تفضله تلك الخلية فى تلك المحاولة. وكان ذلك مدهشا إلى حد ما، لأنه تضمن أن السلوك يمكن أن يتأثر بالخلايا العصبية اللحائية الفردية. وهو ما تأكده دراسات النماذج؛ يمكن أن يتأسس قرار القرد على النشاط المرتبط بشكل ضعيف لأقل من ١٠٠ خلية من خلايا المنطقة الصدغية الوسطى. (٢٧)

لتضييق الهوة أكثر بين الارتباط والعلية، حفَّز نيوسم وزملاؤه المنطقة الصدغية الوسطى مباشرة والحيوان يقوم بالحركة المطلوبة. أى إن هذا التحفيز المجهرى الذى أثر عمومًا دليل على الخصائص العمودية للحركة (الشكل ٨ ـ ٢). افترض أن الخلايا العصبية الانتقائية لاتجاهات حركة مختلفة كانت متناثرة بشكل عشوائى فى كل أرجاء المنطقة الصدغية الوسطى؛ فى هذه الحالة، استثارة الخلايا المجاورة من غير المرجح أن تولد إشارة خالصة؛ لأن مساهمات الخلايا الفردية فى المنطقة الصدغية الوسطى فى قرار الحيوان يمكن إلغاؤها. إذا كان للقطب الكهربى أن يوضع داخل عمود يشفر الحركة إلى أعلى، مع ذلك، وأن يحفز هذه الخلايا، فقد يوجه قرار الحيوان فى هذا الاتجاه.

غرس علماء الفسيولوجى قطبا كهربيا، فى نسيج المنطقة الصدغية الوسطى، قادرًا على نقل نبضات التيار الكهربى، منشِّطًا الخلايا العصبية فى عُشْر مم أو نحو ذلك من طرفه. والقرد يشاهد عرض النقطة المتحركة من المرجح أكثر أن يسجل حركة إلى أعلى عند تحفيز عمود لحائى يشفر الحركة إلى أعلى. كانت نتيجة التحفيز المجهرى متكافئة مع زيادة إشارة الحركة فى الاتجاه إلى أعلى بكمية ثابتة. (٢٨)



الشكل ٨ ـ ٣ **تجمع للحركة والعمق**: العالم مخطط طوبوجرافيا فى المنطقة الصدغية الوسطى، مع تجمع الخلايا العصبية التى تعبر عن خصائص متماثلة لمجال الاستقبال عبر سمك الغشاء اللحائى. أى إن للخلايا تحت رقعة اتجاهًا مماثلاً للحركة (ترمز له السهام) وتفضيلاً للعمق (يشار إليه فى نطاق رمادى). تتغير هذه الانتقائية بسلاسة مع الحركة عبر السطح اللحائى. بهدف التوضيح، ضُخِّم تمييز هذا التجمع. المنطقة المصورة هنا على واحد مم مربع. معدل عن .DeAngelis and Newsome, 1999

ماذا يرى القرد؟ بالتحفيز المجهرى، فى ذاته، لم يتفاعل الحيوان. وهكذا يحتمل أن التيار الكهربى كان ضعيفا جدا بدرجة تجعله لا يسبب مُدرَكًا، مثل فوسفين phosphene يتحرك، لكنه يستطيع التأثير على صفاته.[٢٩] لن نعرف حتى يتكرر فى الإنسان هذا النوع المباشر من استثارة الدماغ، ربما فى مرضى الصرع أثناء الجراحة العلاجية.

هل يتولد إحساس الحركة فى المنطقة الصدغية الوسطى؟

تورط هذه النتائج المنطقة الصدغية الوسطى باعتباره عقدة أساسية لإدراك الحركة العشوائية للنقط: إذا أزيل هذا اللحاء والمناطق المجاورة، يُفقَد الإحساس

الذاتى بالحركة، والسلوكيات المصاحبة له أيضًا. وإضافة إلى ذلك، للمنطقة الصدغية الوسطى بنية عمودية جميلة لاتجاه الحركة (الشكل ٨ ـ ٢)، توحى بأن هذه الصفة تصبح صريحة فى معدل تأجج هذه الخلايا.

بالضبط لأن المنطقة الصدغية الوسطى عقدة أساسية للحركة، لا يعنى ذلك أن تعى الحركة إذا قطعت من الدماغ فى طبق مع الاتصال بمدّخلها البصرى. أعتقد أن المنطقة الصدغية الوسطى تتمتع بتفاعلات ثنائية الاتجاه مع المناطق الأخرى لحدوث الوعى بالحركة.[٢٠] لا تمتد المنطقة الصدغية الوسطى خارج اللحاء فقط (عن طريق الطبقة الخامسة إلى الحدبة التوأمية العليا)، بل تمتد أيضًا إلى المجالات الجبهية للعين وعدة مناطق حساسة للحركة فى اللحاء الجدارى الخلفى، بما فى ذلك المناطق الجدارية الجانبية والبطنية والمنطقة الصدغية العليا الوسطى (انظر الشكل ٧ ـ ٢ والصورة الأمامية). تستجيب الخلايا فى جزء من المنطقة الصدغية العليا الوسطى بشكل انتقائى لمجالات تدفق بصرى مختلفة تتولد بالإبحار خلال الحركة (على سبيل المثال، ترتبط الحركة الأمامية بتدفق بصرى متمدد، ويولد دوران الرأس مجال تدفق دوّار). تساعدك الخلايا العصبية فى جزء آخر من المنطقة الصدغية العليا الوسطى على اقتفاء الأشياء المتحركة بعينيك.

الواجهة المتقدمة للموجة الشبكية التى تطلقها بداية الحركة وتتدفق من الشبكية خلال اللحاء البصرى الأولي إلى المنطقة الصدغية الوسطى وتتجاوزها إلى المناطق الظهرية الأخرى كافية للتوسط فى استجابة سلوكية سريعة.[٢١] ومن ناحية أخرى، ربما يتطلب الوعى بالحركة تغذية رجعية من مقدم اللحاء عائدة إلى المنطقة الصدغية الوسطى والمناطق الأخرى الحساسة للحركة. نتناول هذا الموضوع مرة أخرى فى القسم ١٥ ـ ٣.

تشفر المنطقة الصدغية الوسطى معلومات العمق أيضًا

من النادر أن تسهل منطقة لحائية وظيفة واحدة. ويصح هذا فى حالة

المنطقة الصدغية الوسطى أيضًا، حيث لا تشفر الخلايا العصبية الحركة وحدها، بل تشفر العمق أيضًا. كما قرأتَ فى القسم ٦ ـ ٥، تسقط صورة أى شىء على مناطق مختلفة قليلا من الشبكيتين اليسرى واليمنى. الانفصال النسبى للصورة بين العينين هو تباين الشىء بين العينين. تهتم خلايا كثيرة فى المنطقة الصدغية الوسطى بالتباين إلى حد بعيد. لن يتأجج بعضها إلا إذا كان الهدف قريبا، بينما تستجيب أخرى والهدف بعيد. اكتشف نيوسم وجريجورى دى أنجليس DeAngelis أن خلايا الانتقائية للعمق أو التباين فى المنطقة الصدغية الوسطى توجد فى جزر تقع فى بحر من خلايا عصبية لا تبالى عموما بالتباين. فى أى موضع، أظهرت الخلايا العصبية فى العمود الممتد من الطبقات العميقة إلى الطبقات السطحية انتقائية التباين ذاته. يُركِّب هذا التنظيم المرقع على تنظيم العمود لاتجاه الحركة (الشكل ٨ ـ ٢). (٣٢)

كررت مجموعة نيوسم تجارب التحفيز المجهرى بتعديل واحد- قيام الحيوان بمهمة لتمييز العمق. ولَّد التيار الكهربى الخارجى، الموجه مباشرة إلى المنطقة الصدغية الوسطى، إشارة اتجاه أثرت على السلوك وإدراك العمق عند الحيوان اعتمادا على ضبط تباين الخلايا العصبية القريبة من طرف القطب الكهربى. (٣٣)

٨ ـ ٤ اللحاء الجدارى الخلفى والفعل

والوضع المكانى

تنهمك الرئيسات باستمرار فى عدد هائل من الأفعال الحركية الحسية الروتينية "التلقائية"، مثل التقاط ثمرة من أيكة، أو مد اليد إلى أداة، أو تجاوز عقبة، أو فحص مشهد بعيونهم. تتطلب كل هذه الأهداف توجيها بصريا لكنها قد لا تتضمن الوعى.

لاستخلاص موضع هدف، يتطلب الأمر تحول موضعه النسبى على الشبكية إلى شكل تستغله الشبكات العصبية المسئولة عن مد اليدين والقبض والإشارة لتوجه العينين والرأس والذراعين والأصابع. تورط السجلات الكهروفسيولوجية فى القرد، والتقارير الإكلينيكية، وتصوير الدماغ فى البشر اللحاء الجدارى

الخلفى فى دمج معلومات الوضع والتعبير عنها وربطه بالفعل. يقسم اللحاء الجدارى الخلفى إلى ست مناطق متميزة وظيفيا فى القرد الآسيوى، وتكشف التقنيات الأكثر تطورا عن مناطق إضافية (انظر الشكل ٧ ـ ٣ والمناطق LIP، VIP، 7a فى الصورة الأمامية).

تشترك هذه المناطق فى أن الاستجابات العصبية لا تكون حسية خالصة (تؤثر الإشارات البصرية وأيضًا السمعية وإشارات تحديد الوضع على هذه الخلايا) أو حركية خالصة، بل خليطًا من الاثنتين. تشير تجارب الخلية الواحدة إلى تورط اللحاء الجدارى الخلفى فى وظائف متنوعة مثل تحليل العلاقات المكانية بين الأشياء، والسيطرة على حركات العين واليد، وتحديد موضع توجه الانتباه البصرى. تشفر بعض الخلايا حركات العين أو اليد أو الذراع، التى ينوى القرد القيام بها فى الثوانى التالية. ويعدل الانتباه خلايا أخرى بقوة. يستثير المحفِّز المهم سلوكيا، ربما لأن على الحيوان النظر إليه للحصول على رشفة من عصير التفاح، استجابة معزَّزة مقارنة بمحفز لا علاقة للحيوان به (أعود إلى موضوع الانتباه فى الفصلين التاسع والعاشر).

اللحاء الجدارى الخلفى قناة للمعلومات المرتبطة بالفعل. يؤثر تلف اللحاء الجدارى الخلفى بشكل دائم على قدرة القرد على مد يده ولمس هدف أو وضع يده بشكل مناسب للقبض عليه. يمكن أن تكون العيوب عميقة حتى اعتقد الباحثون الأوائل أن القرود أصيبت بعمى نتيجة هذا التلف، وكانت الحيوانات ترى لكنها تعجز عن توجيه أطرافها بصريا. تشمل مسارات النتاج امتدادات مباشرة من الطبقة الخامسة للحاء الجدارى الخلفى إلى الحبل الشوكى والبنى الحركية فى جذع الدماغ، كما تشمل ارتباطات لحائية ـ لحائية فى اتجاهين إلى المنطقة قبل الحركية ومنطقة مقدم الفص الجبهى فى الأمام.

فى البشر، يسبب تلف اللحاء الجدارى الخلفى عيوبا فى إدراك الفضاء وفى السلوكيات البصرية. ومن أهمها **الإهمال** neglect، ويتميز باضطراب شديد فى الوعى المكانى، والترنح البصرى optic ataxia، عجز دائم عن الوصول إلى الأهداف أو الإشارة إليها.[٢٤]

تشفير الفضاء عن طريق مجالات الكسب

كيف يمثل الدماغ موضع الأشياء؟ ثمة حل رائع، شائع فى علم الإنسان الآلى وعلوم الكمبيوتر، يمكن أن يتمثل فى خريطة شاملة للبيئة فى منسقات العالم. كما فى خريطة مدينة عادية، يخبر هذا التمثيل الكائن بموضع الأشياء فى علاقتها بالعلامات الخارجية. والكائن يستكشف العالم، تُحدِّث الخريطة بمعلومات من الحواس كلها.

يتبع الدماغ استراتيجية مختلفة. يشفر عددٌ من الخرائط وضع الشىء بتمثيل ضمنى (تذكر تمييزى بين الصريح والضمنى المقدم فى القسم ٢-٢) تعتمد على المشغِّل المعنِى. يحتوى جهاز حركة العين على تصور مختلف للفضاء بالقياس إلى منطقة فى الدماغ تشفر حركات الوصول الموجهة بصريا. ومن أمثلة ذلك تشفير الفضاء فى اللحاء الجدارى الخلفى.

فى معظم تجارب فسيولوجيا الأعصاب، يجلس القرد فى كرسى ويكافئ بمتعة، من قبيل العصير، إذا حافظ على عينيه ثابتتين فى رأسه بشكل مطلق (يقيد غالبا لكى لا يلتفت أو يومئ). ويسمح هذا للقائم بالتجربة بتحديد مجال استقبال الخلية العصبية فى منسقات الشبكية. ماذا يحدث إذا حوَّل الحيوان عينيه؟ هل تستمر الخلية فى الاستجابة ما دام المحفز فى موضعه فى الشبكية، كما هو حال الخلايا العقدية؟ أم أن المحفز مشفَّر بشكل مستقل عن زاوية التحديق؟

الإجابة المحددة إمبريقيا لا هذه ولا تلك. تخلط خلايا اللحاء الجدارى الخلفى جهازى تنسيق. عادة، يمكن التعبير عن الاستجابة المتأججة للخلية بأنها نتاج طرف يعتمد فقط على الاستجابة البصرية للشبكية ـ مجال استقبال الخلية المحدد تقليديا- وطرف يختلف مع وضع العين فى محجرها. على سبيل المثال، قد تستجيب خلية عصبية بأقصى درجة لمحفز فى مجال استقبالها الكلاسيكى إذا اتجهت العين إلى اليسار، وتتأجج بشكل أقل إذا تطلعت العين إلى الأمام مباشرة، وتصمت إذا تحولت العين إلى اليمين. بتعبير مختلف، يُعدِّل نتاج مجال الاستقبال، أو كسبه، بوضع العين. ويعرف هذا باستراتيجية مجال الكسب. (٣٥)

الموضع، إذن، مشفَّر بطريقة ضمنية. يمكن استعادته بإشارات متحدة من عدد كبير من هذه الخلايا، مثال عظيم لتشفير مجموعة (القسم ٢ ـ٢). تشفِّر مجالات كسب أخرى وضع الرأس بالنسبة للكتف. وفى هذه الحالة، يمكن وصف الخلية العصبية بنتاج ثلاثة أطراف، يعتمد أحدها على المحفِّز البصرى بالنسبة للشبكية، وآخر على العين بالنسبة للرأس، وآخر على وضع الرأس بالنسبة للكتف. برهنْتُ فى القسم ٢ ـ ٢ على أن التمثيل الصريح شرط ضرورى للارتباطات العصبية للوعى. ويمكن أن تتضمن هذه النتائج أن الوضع الفضائى المطلق غير متاح للوعى. بدلا من ذلك، الوضع النسبى وحده- نسبى للعينين أو اليدين أو الجسم، أو لأشياء أخرى فى مجال المشهد. ويمكن اختبار هذا بتقييم نظام (أو أنظمة) التنسيق المسئول عن الوعى الفضائى ووضعها مقابل تلك التى تضبط السلوك الحركى البصرى (انظر القسم ١٢ ـ ٢).

تشفر بعض الخلايا العصبية فى الدماغ الوضع صراحة. تتأجج خلايا المكان فى قرن آمون القوارض إلى أقصى حد والحيوان فى منطقة معينة فى بيئته (على سبيل المثال، بين مبرد المياه والباب). خارج هذه المنطقة المحدودة، تصمت الخلية.[٣٦] هل يمكن لهذه الخلايا أن تكون جزءًا من الارتباطات العصبية للوعى بوضعٍ مُدْرَك؟ ربما. الآن، لا نعرف.

٨ ـ ٥ اللحاء الصدغى السفلى
والتعرف على الأشياء

أختم هذا الفصل بالانتقال من المسار الظهرى إلى المسار البطنى. يمر التيار البطنى، ناشئًا فى اللحاء البصرى الأولى، فى سلسلة مراحل خلال المنطقتين البصريتين الثانية والرابعة، واللحاء الصدغى السفلى الخلفى، حتى يصل إلى أقصى الجزء الأمامى من اللحاء الصدغى السفلى (الشكل ٧-٣ والصورة الأمامية). يمكن تجاوز مرحلة وسيطة أو اثنتين، لكن التدرج الهرمى يوضع فى الاعتبار غالبا.

فى القرد، الجزء الأمامى من اللحاء الصدغى السفلى آخر منطقة معالجة بصرية رئيسية. المراحل التالية متعددة الحواس أو تتورط فى الفعل أو الذاكرة.

إضافة إلى إرسال معلومات بصرية معالَجة بشكل كبير إلى الفص الصدغى المتوسط وإلى الجسم المخطط striatum فى العقد القاعدية. يمتد الجزء الأمامى من اللحاء الصدغى السفلى إلى لحاء مقدم الفص الجبهى. ربما تقوم التغذية الرجعية من الفص الصدغى المتوسط باستعادة الذكريات البصرية وتحملها فى الفص الصدغى السفلى. [٣٧]

مجال استقبال خلايا الفص الصدغى السفلى، وتشمل النقرة بشكل دائم تقريبا، يمكن أن يكون كبيرا، وكثيرا ما يشمل معلومات ليس فقط من المجال المضاد للمشهد بل من نصف المجال نفسه أيضًا (تنقلها محاور تسير فى الجسم الجاسئ). لا يتضح تنظيم طوبوجرافى فى الجزء الأمامى من اللحاء الصدغى السفلى، مما يفسر غياب الفص الصدغى السفلى فى عملية تخطيط التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى المستخدمة لتوليد أجزاء الشكل ٨ ـ ١).

من وظائف خلايا الفص الصدغى السفلى تمثيل خصائص المظهر والشكل والسطح للأشياء المُدْرَكة. إذا كان القرد يتطلع إلى هدف مختبئ فى مشهد مزدحم، أو يتطلع بالقرب منه ـ تذكر والدو Waldo فى كتاب الأطفال الشهير ـ[٣٨] ويفشل فى الكشف عنه، تبقى صامتة خلايا الجزء الأمامى من اللحاء الصدغى السفلى، التى تتأجج لولا ذلك.[٣٩] يلخص الفصل السادس عشر الدليل على أن الخلايا العصبية فى الفص الصدغى السفلى وما وراءه تمثل صراحة المحتوى الحالى للوعى البصرى.

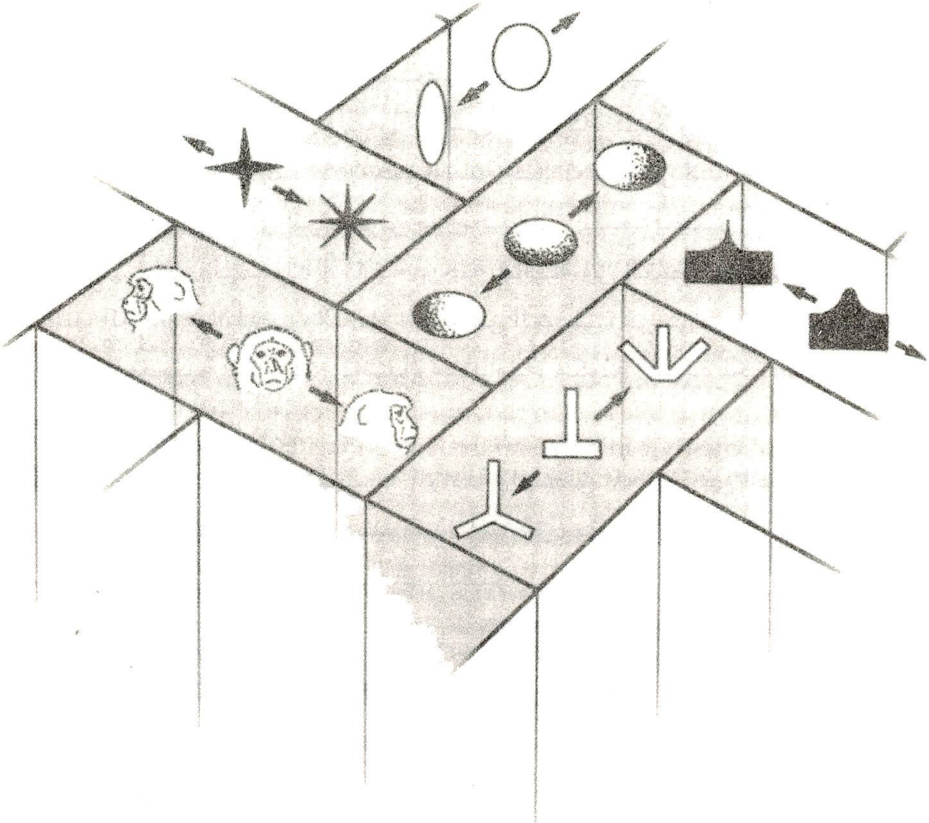
فى اللفيفة الصدغية السفلى وفى المناطق المجاورة للثلم الصدغى العلوى توجد الخلايا العصبية التى تتسم بأعظم انتقائية محفز للأشياء. تشمل الأمثلة الخلايا العصبية التى تتأجج بقوة لدبابيس الورق المثنية بأشكال معينة (الشكل ٢ـ١)، أو الأشجار، أو الأيدى، أو رؤية وجوه قرود أو بشر فى المشهد (الشكل ٢ـ٤). هذه النزعة باتجاه تمثيل أكثر ندرة وصراحة يميز المسار البطنى. وتبدو القصة مماثلة فى الإنسان، حيث بعض خلايا الفص الصدغى المتوسط قاطعة جدا فى الانتقائية ولا تستجيب إلا لمشاهد وصور مختلفة تماما لأشخاص معينين أو مشهورين أو مألوفين (الشكل ٢ـ٢).[٤٠] وتشكل الخبرة هذه الخصوصية.

استكشف كيى تاناكا Keiji Tanaka فى معهد RIKEN لعلوم الدماغ فى اليابان انتقائية محفز خلايا الجزء الأمامى من اللحاء الصدغى السفلى فى القرد بتطوير تقنية تسمح له بالحركة باتجاه المحفز البصرى الذى يسبب أقوى استجابة متأججة. هذه السمات الحاسمة التى يجدها أكثر تعقيداً من التوجه والحجم واللون والتراكيب البسيطة، لكن - باستثناء وجوه البشر والقرود - ليست مفصلة بما يكفى لتمييز أشياء واقعية بشكل كافٍ وكامل.

اكتشف تاناكا بنية عمودية للدوائر، والأركان، والبقع المستطيلة والموجهة، الأبعاد العامة للوجوه، إلخ. يمكن رؤية هذا التنظيم بمقارنة أيضية للمناطق النشطة بالمناطق الخاملة على أساس معامل الانعكاس الضوئى للحاء (التصوير الضوئى).(٤١) أى شىء معقد بشكل متوسط يؤدى بشكل متوسط إلى الكثير من البقع الساخنة من النشاط على سطح الفص الصدغى السفلى، يبلغ قطر كل منها حوالى نصف مم. يمكن تقسيم المنطقة كلها إلى أكثر من ألف من هذه البقع الساخنة. التمثيل العمودى متصل: على سبيل المثال، وزاوية رؤية الوجه تتغير، تتحول أوضاع البقع التى تمثلها بشكل نظامى عبر اللحاء. أفسر هذه البيانات لأعنى أن هناك تمثيلا صريحًا لعائلات من السمات المرئية، مثل الأركان والصور والأشكال الهندسية، وهوية الوجه، وزاوية التحديق.

كشف التصوير الوظيفى لدماغ الإنسان مناطق خاصة بالأشياء فى اللحاء. ينشط اللحاء الصدغى البطنى، بما فى ذلك اللفيفة المغزلية والمنطقة القذالية الجانبية (انظر الصورة الأمامية)، بشكل انتقائى برؤية الأشياء. يتفق معظم الباحثين على أن رؤية الوجوه البشرية تنشط بشكل تفضيلى **المنطقة المغزلية للوجه** fusiform face area فى اللفيفة المغزلية.(٤٢) يرتبط التلف فى هذه المنطقة غالبًا بالعجز عن التعرف على الوجوه، prosopagnosia. (٤٣)

تحتد حاليا مناظرة بين الموضعيِّين الذين يعزون جزءًا واحدًا من التيار البطنى للتحليل المكرس للوجوه، وجزءًا آخر لأجزاء الجسم، وقطاعًا ثالثًا للمنازل والمشاهد الفضائية، والشموليين الذين يبرهنون على أن التعرف على الأشياء موزع على نطاق أوسع فى رقع من النشاط المتداخل. كما هو الحال فى العلم غالبًا، ربما يكون الجانبان فى هذه المناظرة على صواب.



الشكل ٨ ـ٤ **تجمع لخصائص شكل معقد:** فى الجزء الأمامى من اللحاء الصدغى السفلى لقرد، الخلايا التى تشفر خصائص بصرية متماثلة رفيعة المستوى، مثل الوجوه والأركان والبقع المظللة، الخ، تتكتل معا. من المرجح إلى حد بعيد وجود تنظيم فضائى مماثل فى البشر يمكن التقاطه بالتصوير الوظيفى للدماغ. معدل عن .Tanaka, 1997

٦.٨ الملخص

تبنى هذا الفصل رؤية سريعة للحاء البصرى كله. تمثل المناطق البدائية البصرية الأولى (V1) والثانية (V2) والثالثة (V3) والثالثة أ (V3A) والرابعة (V4) والمنطقة الصدغية الوسطى (MT) البيئة فى سلسلة خرائط مشوهة، مع التأكيد على مركز التحديق بشدة. تحلل الخلايا العصبية هنا وتشفر الشكل (بما فى ذلك الحدود الوهمية) واللون والعمق والحركة. تصبح مجالات الاستقبال أكبر وخصائص إطلاقها أكثر خصوصية حين ترتفع فى هذا التدرج الهرمى. بشكل متزامن، يتشكل الرتنيتوبى تدريجيا.[٤٤] بينما يظهر اللحاء البصرى الأولي والمنطقة البصرية الثانية درجة عالية من التنظيم، يضيع هذا فى اللحاء الجدارى الخلفى واللحاء الصدغى السفلى. فى كل موضع، تتجمع معا الخلايا العصبية التى تهتم بأشياء متشابهة، مكونة أعمدة لمختلف خصائص المحفز.

تتناغم خلايا المنطقة البصرية الرابعة والمناطق المجاورة فى اللفيفة المغزلية فى الإنسان مع اللون. ولأن تدمير هذه المناطق يعوق، وربما يمنع، إدراك اللون، يمكن استنتاج أن هذا القطاع اللحائى الكبير يشمل عقدة عصبية أو أكثر للون.

تشفر المنطقة الصدغية الوسطى اتجاه النقط أو الحواجز أو القضبان المتحركة وسرعتها وعمقها. وإذا وضعنا فى الاعتبار التنظيم العمودى المتطور جدا لاتجاه الحركة والعمق، تُمثَّل هاتان الصفتان صراحة فى هذه المنطقة. يمكن استنباط قرارات قرد فى مهمة تمييز الحركة من قوة النشاط المتأجج فى الخلايا الفردية فى هذه المنطقة. إضافة إلى ذلك، يمكن أن ينحرف سلوك الحيوان بشكل نظامى بتحفيز دقيق لرقع صغيرة فى هذا اللحاء. يكشف التصوير الوظيفى للدماغ أن المنطقة الصدغية الوسطى فى الإنسان تنشط بقوة حين يدرك الشخص حركة حقيقية أو وهمية. أخيرا، لا تستطيع مريضة مصابة بتدمير واسع الانتشار على الجانبين فى المنطقة الصدغية الوسطى والمناطق المحيطة بها إدراك الحركة السريعة، رغم إمكانية تعرفها على الشىء المتحرك. فى حديث لزكى، المنطقة الصدغية الوسطى عقدة أساسية لاتجاه حركة مُدْرَكات متحركة بسيطة وسرعتها.

تستجيب مناطق لحائية أخرى بالإضافة إلى المنطقة الصدغية الوسطى للأشياء المتحركة أو للمجالات الضوئية المتدفقة الناجمة عن تحريك العينين أو الرأس. كل منها مكرسة لأوجه مختلفة لإدراك الحركة.

توحد الخلايا العصبية فى اللحاء الجدارى الخلفى المعلومات البصرية والسمعية والوضعية ومعلومات أوامر العين ضمنيا. تشفر هذه الخلايا، جزء من المسار الظهرى، وضع الأشياء الذى يرشد العين أو اليد باتجاهها.

توجد الخلايا العصبية التى تتمتع بخصائص استجابة بصرية متطورة جدا فى اللحاء الصدغى السفلى وما وراءه. تقدم المعلومات الضرورية للتعرف على الأشياء. يوحى وجود أعمدة الخصائص المعقدة بأن هذه الصفات تصبح صريحة هنا. فى اللحاء الصدغى السفلى وفى الفص الصدغى المتوسط ـ من مناطق نتاج اللحاء الصدغى السفلى ـ يمكن أن توجد الخلايا التى تشفر مشاهد معينة لأشياء خاصة، أو مشاهد مختلفة للشخص نفسه. أبرهن فى الفصل السادس عشر على أن نشاط ائتلاف خلايا عصبية فى هذه المناطق ينقل صفات الأشياء التى تُرَى بوعى، الارتباطات العصبية للوعى. تأكد وجود تجمعات كبيرة من الخلايا العصبية الحساسة لرؤية الأوجه والأشياء والمنازل والأماكن بالتصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى فى اللحاء الصدغى البطنى فى الإنسان، بما فى ذلك اللفيفة المغزلية.

تواجه هذه الوفرة فى المناطق البصرية علماء الدماغ بمعضلة رئيسية. إذا لم تكن هناك منطقة واحدة فى الدماغ تشفر كل المعلومات المرتبطة بالموضوع، كيف ندرك إذن مُدْرَكًا واحدًا متكاملا؟ تطرح مشكلة الترابط فى الفصل التالى، مع حقيقة لافتة بأن العقل ينبذ الغالبية العظمى من المُدْخَل الحسى.

الهوامش:

(١) زن Zen: مدرسة بوذية يابانية تؤكد على قيمة التأمل والحدس (المترجم).

(٢) هاينز باجيلز Pagels (١٩٣٩ ـ ١٩٨٨): فيزيائى أمريكى (المترجم).

(٣) يراجع Bullier, Girard and Salin, 1994 دور اللحاء البصرى الأولي فى التوسط فى الاستجابات فى اللحاء البصرى خارج المنطقة المخططة. ويقترحون أن اللحاء البصرى الأولى الدافع الأساسى للمسار البطنى، الرؤية للإدراك، وليس المسار الظهرى، الرؤية للفعل.

(٤) يصف هذه الخرائط Engel, Glover and Wandell, 1997; Tootell et al., 1998. مثل أبناء عمومته، التصوير السطحى بانبعاث البزوترون PET والتصوير الضوئى للإشارات الداخلية، يقيس التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى التغيرات فى تدفق الدم الموضعى استجابة لزيادة الاحتياج الأيضى للمشابك والخلايا العصبية النشطة وخلايا الربط النشطة. تحد حاليا اعتبارات تكنولوجية الوضوح الجزئى لتصوير الإنسان بأكثر قليلا من ١مم. تُملَى الديناميكية الزمنية عمومًا بسرعة تنظيم تدفق الدم الموضعى، بضع ثوانٍ عادة. يفترض عمومًا أن النشاط الديناميكى للدم يتناسب طرديا مع النشاط الشوكى. وهكذا، كلما كانت الإشارة المسجلة بالتصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى أكبر، ارتفع معدل تأجج الخلايا العصبية المسئولة. تعززت الفرضية فى بضع حالات بطريقة غير مباشرة (Rees, Friston and Koch, 2000; Heeger et al., 2000)، وفى براعة تقنية مذهلة، بتسجيل متزامن للإشارات الكهربية الموضعية ونشاط التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى (Logothetis et al., 1999, 2001). لسوء الحظ، ليست العلاقة بين الاثنين بسيطة جدا دائما. يمكن أن يمضى النشاط الديناميكى النشط للدم يدا بيد مع معدل تأجج عصبى ثابت أو حتى متناقص (Mathiesen et al., 1998; Logothetis et al., 2001; Harrison et al., 2002). ترتبط الزيادة فى تدفق الدم ومستوى الأكسدة بأقصى قوة بالنشاط المشبكى، تحرر الناقل العصبى وامتصاصه، وتجديد التغيرات الأيضية، وبشكل أضعف بكثير بالنشاط الشوكى. لا يفسر الاحتياج الأيضى لتوليد جهود الفعل وانتشارها إلا جزءًا صغيرًا من مجموع الطاقة التى يحتاجها الدماغ. وهكذا يمكن أن

تعكس إشارة التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى المُدْخَل المشبكى إلى منطقة ومعالجة موضعية، وليس النتاج العصبى - تيارات جهود الفعل التى تُرسَل إلى مواضع أبعد (Logothetis, 2002).

(٥) تتوقف فى النهاية end-stopped: خاصية فى الشعر تناظر فيه الوحدة البنائية طول البيت (المترجم).

(٦) يفهرس Livingstone and Hubel, 1987؛ Levitt, Kiper and Movshon, 1994؛ Roe and Ts'o, 1997؛ Peterhans, 1997؛ von der Heydt, Zhou and Friedman, 2000؛ Thomas, Cumming and Parker, 2002 الخصائص الكهروفسيولوجية لخلايا المنطقة البصرية الثانية. ولهذه المنطقة معمار مميز أيضًا لمؤكسد السيتوكروم cytochrome oxidase، مرتبط بنظام النقط فى اللحاء البصرى الأولي، كما يصفه بالتفصيل Wong-Riley, 1994. إلا إذا لم نذكر شيئا آخر، حصلنا على البيانات فى هذا الفصل من القرد الآسيوى. من المرجح أن تختلف تفاصيل (وليس المبادئ) كثيرة فى لحاء الإنسان.

(٧) يفحص Kaniza, 1979؛ Gregory, 1972 سيكولوجيا الحافات الوهمية. توصف النتائج الكهرو فسيولوجية فى Peterhans Von der Heydt, Peterhans and Baumgartner,1984 and von der Heydt,1991.

(٨) استأصل Marigan, Nealey and Maunsell, 1993، المنطقة البصرية الثانية ولاحظوا عيوب تصرف القرد.

(٩) سجل التجارب الأصلية على الخلية المفردة فى القرد Burkhalter and Van Essen, 1986؛ Newsome, Maunsell and Van Essen, 1986. حدد Tootell et al., 1997 مناطق متماثلة فى دماغ الإنسان على أساس التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى. يجادل البعض بشأن تقسيم المنطقة البصرية الثالثة إلى ثلاث مناطق منفصلة (Lyon and Kaas, Zeki, 2003. 2002)

(١٠) شوبنهور Schopenhauer (١٧٨٨ - ١٨٦٠): فيلسوف ألمانى (المترجم).

(١١) يتضح ذلك بطرق كثيرة. انظر كتابا تمهيديا عن الألوان Bryne and Hilbert, 1997.

(١٢) Zeki, 1973, 1983 - هذه الدراسات على القرود والدراسات المرتبطة بها على الإنسان ملخصة فى دراسة رائعة Zeki, 1993. تحدث حسابات مقارنة المناطق التى هى أساس ثبات اللون فى مراحل متعددة، من الشبكية إلى اللحاء البصرى الأولي والمنطقة البصرية الرابعة (Wachtler, Sejnowski and Albright, 2003).

(١٣) يناقش Meadows, 1974؛ Damasio et al., 1980؛ Zeki, 1990، الأدبيات الإكلينيكية المرتبطة بالموضوع. فى مريض، كان موضع التلف محدودا تماما بحيث فقدت رؤية اللون

فى ربع واحد فقط من مجال الإبصار (Gallant, Shoup and Mazer, 2000 : انظر أيضًا الهامش ٢٢ فى الفصل ٢). بشكل لافت، لا يلاحظ هذا المريض- وأمثاله - أنهم يرون الرمادى فى جزء من مجال إبصارهم واللون فى جزء آخر.

(١٤) Tootell and Zeki et la., 1998 Cowey and Heywood, 1997 Zeki et la., 1991 Wade et la., 2002 Hadjikhani,2001

(١٥) الصورة اللاحقة afterimage: الصورة البصرية التى تستمر بعد زوال محفزها (المترجم).

(١٦) .Hadjikhani et al., 1998 ;Sakai et al., 1995

(١٧) سنيستيشا synethesia: إنتاج انطباع بإحساس يرتبط بإحساس أو جزء من الجسم بتحفيز إحساس آخر أو جزء آخر من الجسم (المترجم).

(١٨) ألدوس هكسلى Huxley (1898-1963): كاتب بريطانى. "أبواب الإدراك Doors of Perception"، كتاب (١٩٥٤) يتناول تجربته مع تعاطى الميسكالين Mescaline، وهو عقار يسبب الهلاوس (المترجم).

(١٩) Nunn et al., 2002 ;Paulesu et al., 1995 . عن خلفية السنيستشيا، انظر Cytowic, 1993 ; Ramachandran and Hubbard, 2001 ; Grossenbacher and Lovelace, 2001.

(٢٠) سمى هذه المنطقة الصدغية الوسطى مكتشفوها فى قرود العالم الجديد (Allman and Kaas, 1971) وسماها Zeki, 1974، أول من اكتشفها فى قرود العالم القديم، المنطقة البصرية الخامسة .(V5) ويشار إلى المنطقة المماثلة لها فى الإنسان باسم .MT/V5 أستخدم تسمية المنطقة الصدغية الوسطى (MT). يلخص Albright, 1993; Anderson, 1997 خصائص المنطقة الصدغية الوسطى ومناطق معالجة الحركة المرتبطة بها بقوة.

(٢١) تم ذلك بأصباغ الميلين أو الأجسام المضادة بعد الوفاة .(Tootell and Taylor, 1995).

(٢٢) يربط Tootell et al., 1995; Goebel et al., 1998; Heeger et al., 1999; Huk, Ress and Heeger, 2001، نشاط التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى فى المنطقة الصدغية الوسطى فى الإنسان بصفات متنوعة لإدراك الحركة. يحدد Tootell and Taylor, 1995 المنطقة الصدغية الوسطى فى الإنسان بمؤشرات الميلين والأيض، والأجسام المضادة أحادية النسيلة monoclonal.

(٢٣) على أساس هذه المناقشة قد يكون الانخفاض النهائى فى نشاط التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى بعد محفز حركة قوى ومستمر لمجموعة خلايا تشفر اتجاه الحركة متوقعا. وأكدت هذا دراسة رائعة بالتصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى لديفيد هيجر وزملائه (Huk, Ress and Heeger, 2001). سجلوا تأثيرات تكيف الحركة انتقائية

الاتجاه فى معظم المناطق البصرية المبكرة، وتصل إلى أقصاها فى المنطقة الصدغية الوسطى. فى القرود، الخلايا التى استجابت من قبل بالطريقة نفسها للحركة إلى أعلى وإلى أسفل يختل توازن نتاجها بعد التكيف (Tolias et al., 2001). يميز الباحثون اليوم تأثيرات لاحقة مختلفة للحركة بخصائص متميزة (على سبيل المثال، لنقل الحركة مقابل الحركة اللولبية). تقدم دراسة Mather, Verstraten and Anstis, 1988 مزيدا من التفصيل.

(٢٤) استروبوسكوبية stroboscopic: الاستروبوسكوب أداة تشع ضوءا ساطعا بسرعة كبيرة بحيث يبدو الشىء الذى يتحرك أو يلف ثابتا (المترجم).

(٢٥) توجد عيوب المريضة الأخيرة ل. م. بالتفصيل فى Zihl, von Cramon and Mai, 1983 ومنه أخذنا الاقتباس؛ . Hess, Baker and Zihl, 1989 ؛ Heywood and Zihl, 1999. إذا تحرك جسم ببطء (أقل من ١٠ درجات فى الثانية) بطريقة ملتبسة، يمكن أن تستنبط ل. م. الحركة، على الأرجح من تغير الموضع. عانى جندى ألمانى أصيب بتلف فى الفص القذالى بانفجار لغم من فقد مطلق للحركة (Goldstein and Gelb, 1918). لم يشعر قط بحركة بصرية، وكان يدرك حركة اللمس على جلد يده أو ذراعه. حين طلب منه متابعة حركة مستمرة ليد بالمشاهدة، استطاع الإشارة إلى مواضع محددة، مدعيا انه رأى فقط اليد "هنا" و"هناك" لكنه "لم يرها فى الوسط قط". يضع Zeki, 1991 مثل هذه الحالات النادرة من عمى الحركة akinetopsia فى سياقها التاريخى.

(٢٦) التفاصيل الكاملة سجلها Britten et al., 1992. قيم Shadlen et al., 1996 النتائج بالنسبة لاستراتيجيات التشفير العصبى. وضع بحث Schall, 2001 التجارب فى سياق صناعة القرار. قام Cook and Maunsell, 2002 ، Williams et al., 2003 ؛ Ditterich, Mazurek and Shadlen 2003 بتنوعات لهذه التجارب بشكل بيئى أكثر ارتباطا بزمن التفاعل.

(٢٧) المقياس الحسابى المستخدم يسمى احتمال الاختيار .(Britten et al., 1996) وهو تقنية حسابية قوية تختبر الفسيولوجيا المسئولة عن الإدراك بطريقة قوية (Parker and Newsome, 1998).

(٢٨) كان تأثير التيار الكهربى الذى نقله القطب الكهربى خاصا جدا. لم يتأثر قرار الحيوان إلا إذا تداخل مجال استقبال المكان الذى حُفّز فى المنطقة الصدغية الوسطى مع موضع سحابة النقط المتحركة. أحيانًا، يوجه تحفيز القطب الكهربى الحركة فى اتجاه واحد؛ ثم، بنقل القطب الكهربى ٢٠٠ ميكرومتر فى العمود للاتجاه المضاد للحركة (الشكل ٨ ـ ٣)، يمكن للتحفيز الكهربى ذاته الآن أن يؤثر على هذا الاتجاه للحركة Salzman et al., Salzman and Newsome, (1992 - 1994)).

(٢٩) قد يكون التأثير ضمنيا ولا شعوريا، مماثلا للتأثير اللاحق للحركة الذى يحدث عند التحديق فى شاشة خالية. فى مثل هذا المجال الخاوى، لا يمكن أن يتجلى التأثير اللاحق لأى محيط، ولا تُرَى أية حركة.

(٣٠) للمساعدة فى فهم أفضل لدور المنطقة الصدغية الوسطى فى إدراك الحركة، تأمل هذا التماثل الجزئى مع الكيمياء الحيوية. الهيموجلوبين بروتين كبير يتكون من وحدتين فرعيتين ألفا - واثنتين بيتا -. الحديد فى قلب مجموعة الهيم heme فى سلسة ألفا - وسلسلة بيتا - يمكن اعتباره عقدة أساسية لأن الأكسجين يرتبط به. أعق ارتباط الأكسجين تحدث أشياء سيئة. يمكن أيضًا أن يفقد الهيموجلوبين نشاطه إذا لم تستطع بعض الأحماض الأمينية المكونة له أن تنثنى بشكل صحيح حول مركب ارتباط الحديد والأكسجين أو إذا منعت بشكل ما الوحدات الفرعية الأربع للجزىء من الاقتران بشكل صحيح. من ناحية أخرى، يوضح تتابع الأحماض الأمينية فى الهيموجلوبين تنوعا كبيرًا عبر الأنواع، مما يتضمن أن الكثير من الأحماض الأمينية ليست حاسمة لوظيفته. إضافة إلى ذلك، يمكن أن تتحد الجزيئات الأخرى أيضا بالأكسيجين مثل الهيموجلوبين. وهكذا قد يكون الوضع كذلك فى الدماغ. اللحاء الصدغى المتوسط عقدة أساسية للحركة لكنه ليس الموضع الوحيد الذى يتم فيه تحليل معلومات الحركة والتعبير عنها. حتى تلف المخيخ، البعيد تماما عن هذا اللحاء، يمكن أن يعيق أوجه إدراك الحركة (Their et al., 1999).

(٣١) تقدم سجلات المنطقة الصدغية الوسطى التى قام بها Cook and Maunsell, 2002 أفضل دليل حتى الآن على أن الحافة الأمامية للموجة الشبكية تحدد فى النهاية السرعة التى يمكن أن يتفاعل بها الحيوان مع حركة المحفز.

(٣٢) يناقش Maunsell and Van Essen (1983) DeAngelis, and Newsome, (1998) , and Cumming and DeAngelis (2001). فسيولوجيا إدراك العمق بالعينين فى المنطقة الصدغية الوسطى.

(٣٣) وضحت دراسة كهروفسيولوجية رائعة Bradley, Chang and Andersen, 1998 أن منطقة اللحاء الصدغى المتوسط توحد معلومات العمق والحركة. عززت تجربة مرتبطة بالموضوع Grunewald, Bradley and Andersen, 2002 الحالة ضد تورط مباشر لخلايا اللحاء البصرى الأولي فى الإدراك (هنا بالنسبة لبنية ثلاثية الأبعاد من إشارات الحركة)، بينما لا ترتبط خلايا اللحاء الصدغى المتوسط بمُدْرَك الحيوان.

(٣٤) يناقش Andersen, 1995; Gross and Graziano, 1995; Golby and Goldberg, 1999; Snyder, Batista and Andersen, 2000; Bisley and Goldberg, 2003، اللحاء الجدارى الخلفى والانتباه والنية وتشفير الفضاء. يراجع Glickstein, 2000 الارتباطات بين المناطق البصرية والحركية. للمزيد عن الإهمال، انظر القسم ١٠-٣.

(٣٥) أُدخِل هـذا المصطلح فى Zipser and Andersen, 1988. يراجع ويناقش Andersen et al., 1997 ؛ Pouget and Sejnowski, 1997 ؛ Salinas and Abbott, 1995، النتائج الحسابية لهذا التمثيل الضمنى للفضاء.

(٣٦) تبقى خلايا المكان، ووصفها أول مرة O'Keefe and Nadel, 1978 ، انتقائية فى الظلام، ما دام للحيوان إشارات شم أو لمس أو إشارات أخرى تساعده على التوجه. التمييز الفضائى جيد بشكل كافٍ لعلماء الكهروفسيولوجيا ليحددوا بدقة وضع الحيوان فى حدود بضعة مم بالتسجيل المتزامن لنشاط بضع عشرات من خلايا المكان فى قرن آمون. وصف تجديد مسار الفأر وهو يتحرك فى متاهة على أساس نشاط متأجج لثلاثين إلى مائة خلية Frank, Brown and, Zhang et al., 1998 ؛ Wilson and McNaughton, 1993 ؛ Wilson 2000 يصف Nadel and Eichenbaum,1999 خلايا المكان فى القرود. ويصفها Ekstrom et al., 2003 فى البشر.

(٣٧) كدس Miyashita et al., 1996 ؛ Naya, Yoshida and Miyashita, 2001 أدلة مباشرة على الدور الأساسى لهذا المسار فى التغذية الرجعية فى الفص الصدغى السفلى فى الذاكرة المرتبطة بالرؤية.

(٣٨) سلسلة كتب أطفال للكاتب البريطانى مارتين هندفورد Handford (١٩٥٦ -) (المترجم).

(٣٩) (Sheinberg and Logothetis, 2001) على عكس خلايا المسار الظهرى، لا تهتم خلايا الفص الصدغى السفلى بحركات العين.

(٤٠) يناقش:

Young and Yamane, (1992) ؛Tanaka, 1996, (1997, 2003) Logothetis and Sheinberg, (1996) ؛DiCarlo and Maunsell, (2000); Tamura and Tanaka, (2001); Gross (2002); and Tsunoda et al., (2001)

خصائص الاستجابة البصرية وأعمدتها فى اللحاء الصدغى السفلى فى القرود. يشار إلى البيانات المأخوذة من الفص الصدغى المتوسط فى البشر فى الهامش ١٧ فى الفصل الثانى.

(٤١) معامل الانعكاس: النسبة بين كمية الإشعاع المنعكس على سطح والكمية الساقطة عليه (المترجم).

(٤٢) توجد المنطقة المغزلية للوجه فى كل الأشخاص تقريبًا فى منتصف اللفيفة المغزلية اليمنى، وتمثل فى البعض على الجانبين (Kanwisher, McDermott and Chun, 1997؛ Tong et al., 2000). يعدل الانتباه نشاطها (Vuilleumier et al., 2001) ليست المنطقة المغزلية للوجه المنطقة الوحيدة فى الدماغ التى تنشط للوجوه. ولا يرتبط كل نشاط المنطقة المغزلية للوجه بشكل فريد بإدراك الوجوه (Haxby, Hoffman and Gobbini, 2000). للدراسات الأخرى بالتصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى للاستجابات لرؤية

الأشياء على طول المسار البطنى، انظر Ishai et al., :Epstein and Kanwisher, 1998
Haxby et al., 2001. :2000

(٤٣) يمسح Benton and Tranel, 1993 الأدبيات الإكلينيكية. يعلق Wada and Yamamoto, 2001 على مريض بتلف محدد بدقة شديدة يعجز عن التعرف على الوجوه.

(٤٤) الرتنيتوبى retinotopy: التنظيم الفضائى للاستجابة العصبية للمحفز البصرى (المترجم).

الفصل التاسع

الانتباه والوعى

ثمة سؤال آخر عن الإحساس، عما إذا كان يمكن إدراك شيئين فى وقت واحد
لا يتجزأ أم لا، إذا افترضنا أن المحفز الأقوى يطغى على الأضعف دائما؛
ما السبب فى أننا لا نرى الأشياء المعروضة لعيوننا، إذا كنا منهمكين
فى التفكير، أو فى حالة خوف، أو نستمع إلى ضجيج عال.

أرسطو من "عن الحس والمحسوس"

تبدو الرؤية بسيطة. تفتح عينيك، تتطلع حولك، وبسرعة تشيد تمثيلا ثابتا للعالم فى رأسك. ترى بوضوح كتبًا مرصوصة على الأرفف، رسومًا تجريدية ملونة مغزولة على سجادة إيرانية على الأرضية، وحركة غصون الأشجار خارج الشباك فى الحديقة. من وجهة نظر المستخدِم، تبدو الرؤية عملية تلقائية ترسم الواقع الفيزيائى الخارجى مباشرة على العالم الذهنى الداخلى.(١)

لكن بضع دقائق من الملاحظة الذاتية تكشف أن العلاقة بين العالمين الخارجى والداخلى أكثر تعقيدًا بكثير. لا تُقدَّم الخبرات ببساطة، كما أكد بعض الإمبريقيين. بالأحرى، ينتقى عقلك، ضمنيا أو صراحة، كتلا من المعلومات ترتبط بالوضع الحالى من طوفان هائل من البيانات المتدفقة فيه من المحيط الحسى. كما ذكرنا فى الفصل الثالث، تتدفق عشرات الملايين من بيتات المعلومات عبر العصب البصرى إلى الدماغ الحقيقى فى كل ثانية تُفتَح فيها العين. لا يستطيع

الدماغ معالجة كل هذه البيانات؛ يتعامل مع هذا العبء الهائل من المعلومات بالانتباه انتقائيا لأجزاء ضئيلة منها، والتغافل عن معظمها.[٢]

بالانتباه الانتقائى لأحداث أو أشياء معينة فى الخارج، تختار عالما تحسه من بين عدد لا يحصى من العوالم.[٣] أشعر بهذا بأوضح شكل حين أنهمك فى تسلق مطلوب. يُنحَّى كل شىء إلا حركة جسمى على الصخور والرياح العاصفة إلى غفلة الإدراك. أنسى الحقيبة على ظهرى، وعضلاتى التى تؤلمنى، والعاصفة الرعدية الوشيكة، والأغنية الساحرة للفراغ من تحتى. التقط متسلق الجبال جون كراكير Krakauer هذا بشكل جيد حين كتب:[٤]

> خطوة خطوة، يركز انتباهك بشدة بحيث لا تلاحظ المفاصل العارية، الأفخاذ المتقلصة، توتر تركيز متواصل لا يتوقف. تستقر حالة تشبه النشوة على جهودك، يصبح التسلق حلمًا واضحًا. تنزلق الساعات مثل الدقائق. الإثم المتراكم وفوضى الوجود اليومى... يُنسَى كل ذلك مؤقتًا، منشغلا عن أفكارك بوضوح طاغ للهدف، وبخطورة المهمة التى تقوم بها.

تعى عادة ما تنتبه إليه. تساوى التقاليدُ الموقرة فى علم النفس الوعى بشىء أو حدث بالانتباه إليه. ومن المهم عدم الخلط بين هذين المفهومين. الانتباه والوعى عمليتان متميزتان، وربما تكون العلاقة بينهما أكثر تعقيدًا من المتصوَّر تقليديًا.

أبدأ بوصف معنى الانتباه الانتقائى وكيف يعمل. من المعروف أن تحديد الانتباه بدقة صعب. لنأخذ هذا التعريف الفينومينولوجى عن وليم جيمس مؤسس علم النفس الأمريكى.[٥]

> يعرف الجميع معنى الانتباه. إنه الاستحواذ بالعقل، فى شكل واضح وحى، على شىء مما يبدو أنه أشياء عديدة محتملة فى الوقت ذاته أو تيارات من الأفكار... يتضمن الابتعاد عن بعض الأشياء للتعامل بفاعلية مع أشياء أخرى...

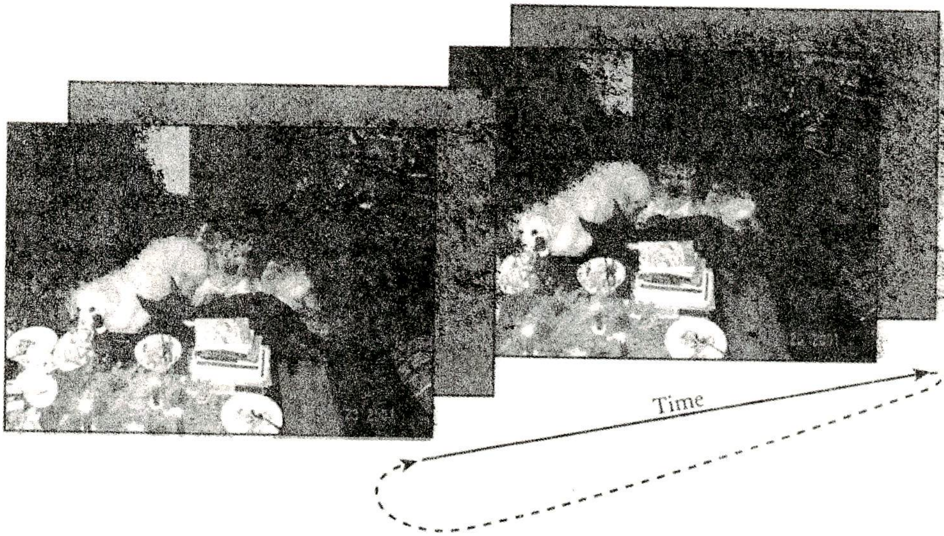
فى أية لحظة، يمكن فقط اختيار شىء أو بضعة أشياء بهذه الطريقة (نتناول عددها فى القسم ١١-٢). يتداخل هدفان أحدهما مع الآخر، إذا نفذا فى الوقت ذاته، وكانا كلاهما يتطلبان الانتباه.(٦) فى مجال الإبصار، ثمة استعارة قديمة للانتباه الانتقائى وهى الكشاف searchlight. تستفيد المواد التى يضيئها الكشاف من معالجة إضافية.

٩ - ١ عمى التغير أو كيف يخدعك ساحر

كما تبين فى تصدير الفصل، ويعود للقرن الرابع قبل الميلاد، لا ترى غالبا ما أمام عينيك إذا انشغل انتباهك بموضع آخر. **عمى التغير**، الفشل فى اكتشاف تغير كبير فى صورتين متماثلتين باستثناء هذا التغير، أكثر ظواهر هذه الحقيقة المزعجة قوة (الشكل ٩ - ١). يمكن أن يكون الاختلاف بين الصورتين بارزًا حتى يستحيل، بمجرد تحديده، تجاهله بعد ذلك. تفقد الطائرة الجامبو محركها بشكل متكرر، أو يختفى جسر أو يظهر من جديد فى مشهد تمثيلى، أو يتغير لون قميص من الأحمر إلى الأزرق وبالعكس. (٧)

فى وضع طبيعى أكثر، نظمت مواقف مثل "الكاميرا الخفية" ورط فيها عالم نفس متفرج عشوائى فى محادثة. أثناء ذلك، مشى "عاملان"، يحملان بابًا، بشكل فج بين القائم بالتجربة والشخص الذى لا يعرف. خلف الباب، بدل أحد العاملين مكانه مع القائم بالتجربة. فى نصف الحالات لم يلاحظ الشخص أنه أنهى المحادثة وأنه يتحدث مع شخص مختلف.(٨)

يمكن حتى أن يخطئ الأشخاص هدفًا واحدا معزولا يومض أمام عيونهم مباشرة إذا كان غير متوقع، ظاهرة مذهلة تعرف باسم **عمى عدم الانتباه**.(٩) ربما تكون زلات الانتباه أساس حوادث السيارات أو الطائرات التى تُعزى لخطأ بشرى. فى ظل الرؤية الواضحة، دون دليل على تعاطى كحول أو عقاقير، أو خلل ميكانيكى، أو غدر، يصطدم السائقون أو الطيارون بشكل غير قابل للتفسير فى عوائق واضحة. فى أحد الأمثلة، كان على طيارى شركة طيران تجارية الهبوط بطائرة ٧٢٧ فى لعبة لمحاكاة الطيران. فى بعض المقاربات، وضعت صورة طائرة صغيرة بشكل غير متوقع على الممر. استمر طياران من ثمانية طيارين فى عملية الهبوط فى مرح، دون مراوغة، وهو فشل مروع ضمنيا لجهاز الإدراك. (١٠)



الصورة ٩ ـ ١ **هل تلاحظ التغير؟** هذه السلسلة القصيرة، وفيها تُزخرَف الصورة فى الإطار الأول وتظهر فى الإطار الثالث، تتكرر فى حلقة لا تنتهى حتى يُرى الشىء الذى يختفى ويظهر. بشكل لافت، قد يستغرق هذا وقتا طويلا. تستبعد الفراغات المتداخلة الإشارة القوية المؤقتة المرتبطة بالشىء المتغير الذى يكشف اللعبة لولا ذلك.

استغل سحرة المسرح عمى عدم الانتباه والتغير لآلاف السنين. صرف انتباه الجمهور بمساعدة جميلة بالبكينى، تتلاشى الأشياء فى الرؤية المباشرة. إذا حضرت عرضين متتاليين وتتبعت بحرص يدى الساحر، ترى ما أقصد (رغم أنه قد يفسد متعة الوهم).

العمى الناجم عن الحركة، الذى تناولناه فى القسم ٣-١، وأيضًا قمع الوميض وتنافس العينين، ويقدم بشكل أكثر اكتمالا فى الفصل السادس عشر، أمثلة أخرى لظواهر بصرية يكون عزل الانتباه فيها حاسمًا على الأرجح فى اختفاء هذه المحفزات.

مغزى هذه النتائج أنك قد تغفل عن أحداث تدور أمام عينيك، بافتراض انشغال الانتباه الموضعى فى مكان آخر. وهذا كثير جدا بالنسبة لاعتقادك بأنك ترى كل ما حولك. الحقيقة أنك لا ترى كل ما حولك.

٩ ـ ٢ الانتباه إلى منطقة أو خاصية أو شيء

تركيز الانتباه على حدث يعجل المعالجة

فى تجربة كلاسيكية عن زمن رد الفعل أجراها عالم الأعصاب مايكل بوسنر Posner، حين كان يعمل فى جامعة أوريجون Oregon، ركز الأشخاص على علامة فى مركز شاشة خالية إلا من هذه العلامة. عند نقطة ما أثناء المحاولة، يومض ضوء فى موضع من أربعة مواضع على الشاشة. على الأشخاص ضغط زر بمجرد رؤية الضوء، دون أن يحركوا عيونهم. فى محاولات كثيرة، لا كلها، يشار إلى موضع الومضة القادمة من الضوء بإشارة (بسهم مثلا) فى علامة التركيز. يستغرق الناس حوالى ٢٩٠ ملى ثانية للاستجابة للضوء إذا لم تكن لديهم فكرة عن موضع ظهوره، ويستغرقون ٢٦٠ ملى ثانية إذا كانت هناك إشارة للموضع. إذا حُثُّوا على الانتباه إلى اليسار حين يظهر الضوء بالفعل على اليمين، يزيد زمن رد الفعل إلى ٣٢٠ ملى ثانية. التفسير الأبسط هو أن الانتباه يسرِّع اكتشاف ومضة الضوء من ٣٠ إلى ٥٠ ملى ثانية. الانتباه الموضعى يعزز أيضًا وضوح مقابلات شاحبة وخصائص فضائية دقيقة.(١١) من الصعب الانتباه فى وقت واحد لموضعين منفصلين.

تساعد هذه النتائج على دعم التفكير فى الانتباه الموضعى باعتباره كشافا ينير العالم. رغم قوة الصورة وسيطرتها، فهى ليست إلا استعارة. لتفسير البيانات بشكل كامل، لابد أن يتطابق الكشاف مع شكل الشىء المضاء، أو المنطقة المضاءة، ولا بد أن يكون حجمه قابلا للتكيف على أساس التوقعات السابقة. إضافة إلى ذلك، يندفع الكشاف بشكل متواصل من موضع إلى التالى، ولا يندفع الانتباه. التماثل الأكثر ملاءمة قد يكون ضوء المسرح الذى يطفأ فى موضع ويضاء فى آخر، مضيئا ممثلين مختلفين يحتلون موضعًا مركزيا على المسرح. (١٢)

البحث البصرى، أو كيف تظهر فى حشد

من الطرق الشائعة لفحص الانتباه أن تطلب من أشخاص البحث عن شىء، مثل "د" حمراء مختبئة ضمن حروف أخرى ملونة. آن تريسمان، الآن فى جامعة

برينستون Princeton، وبيلا يوليتش،[١٣] وتعمل فى مختبرات بل Bell، من رواد دراسات البحث البصرى. ركزا على أسئلة بسيطة بشكل خادع: كيف يزيد الزمن المستغرق فى العثور على هدف كلما زاد عدد الأشياء المشتتة؟[١٤]

فى بعض حالات الجمع بين الهدف والمشتتات، يكون البحث هينا. يبرز الهدف من العرض ذاتيا. العثور على قضيب أحمر ضمن قضيبين أو ٨ أو ١٦ أو ٣٢ خضر مبعثرة فى المكان كله يحدث بسرعة شديدة، بصرف النظر عن عدد العناصر الخضر الموجودة. إذا وضعت مجموعة من "L" على الشاشة، تظهر العلامة الغريبة "+" بوضوح (الشكل ٩ ـ ٢). فى لغة علم الكمبيوتر، يتقدم البحث بشكل متواز (إلا إذا بدأت العناصر الفردية التداخل مع بعضها).

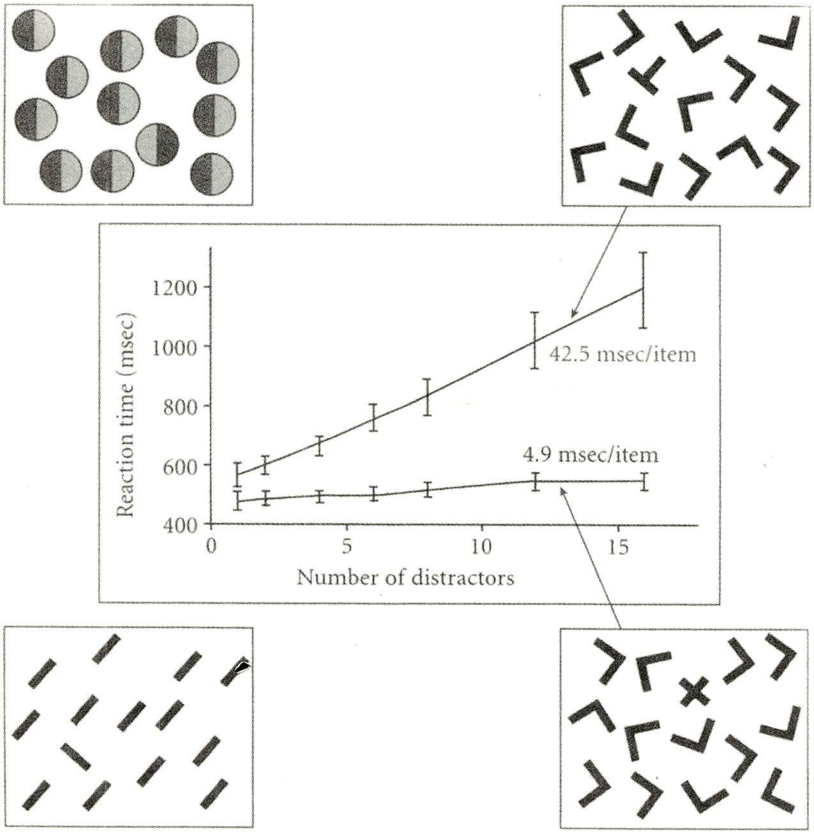
عموما، يحدث البروز إذا اختلف الهدف بشكل كافٍ عن المشتتات فى صفة أساسية، مثل اللون أو الحجم أو الشكل أو الحركة (كما حين تحرك فأرة الكمبيوتر إلى الأمام والخلف لتجد موضع المؤشر على الشاشة). لا يعتمد البروز على التنظيم الموضعى للمحفز فقط، بل يعتمد أيضًا على التأثيرات العامة التركيبية أو الشكلية التى يؤكدها علماء علم النفس الجشتالتى Gestalt.[١٥]

تكامل الخصائص باستخدام الانتباه الانتقائى

مع أشكال أخرى من الهدف والمشتت، يزيد زمن رد الفعل بشكل خطى تقريبا مع عدد العناصر فى العرض. يحدث هذا النوع من البحث المسلسل serial search حين تبحث عن "T" ملقاة فى مجال من " "L فى الشكل ٩-٢.[١٦] يمكن كشف الأهداف المحددة بخصائص فريدة، مثل اللون أو التوجه بالتوازى، ولا يمكن كشف مجموعات من هذه الخصائص؛ البحث عن قضيب أخضر أفقى بين قضبان خضر رأسية أو قضبان حمر فى أى توجه يستغرق وقتا أطول فى وجود المزيد من الأهداف المحتملة.

لتفسير هذه النتائج، افترضتْ تريسمان Treisman أن الخصائص البسيطة مقدمة فى خرائط طوبوجرافية للتوجه واللون، موجودة فى اللحاء البصرى الأولي والمنطقة البصرية الثانية ومواضع أخرى. ومن ثم افترضت بعبقرية أن

تحديد الخاصيتين الأساسيتين، مثل الأخضر والأفقى، يجعل أى شىء يتطلب مصادر انتباه. أى إن التأكد من وجود الخاصيتين يتطلب انتباهًا. ولأن الأمر يستغرق وقتا من كشاف الانتباه للتحول من هدف محتمل إلى التالى، يزيد زمن رد الفعل كلما زاد عدد الأشياء التى تحتاج إلى المعاينة. يتعزز إطارها النظرى، ويعرف بنظرية تكامل الخاصية feature integration theory، بحقيقة أن منحدر الرسم البيانى لزمن رد الفعل حين لا يكون هناك هدف مقابل عدد العناصر المشتتة (الشكل ٩-٢) يتضاعف حقا مقارنة بأزمنة رد الفعل حين يوجد بالفعل هدف فى العرض. إذا وُزِّعت الأشياء عشوائيا فى المجال، يُحدَّد الهدف، إحصائيا، بعد فحص نصف العناصر كلها بالكشاف، ولا يمكن التأكد من غياب الهدف إلا بعد فحص كل العناصر، مما يفسر ببراعة الاختلاف فى منحدر الرسم البيانى.[١٧]



الشكل ٩ ـ ٢ **نموذج البحث البصرى للانتباه الموضعى**: فى البحث المتوازى، يبرز الهدف (كما فى المثالين فى الصف السفلى). عمليا، يزيد الزمن المستغرق فى تحديد وجود الهدف باعتدال مع زيادة المشتتات فى مجموعة البحث. فى البحث المسلسل، تحديد الهدف ـ قرص مقسم إلى نصف فاتح ونصف غامق بين أقراص مقسمة إلى نصف قاتم ونصف فاتح فى اللوحة العليا اليسرى و "T" بين "L" فى اللوحة العليا اليمنى ـ يتقدم بشكل أبطأ مع زيادة عدد المشتتات. يحدد الرسم البيانى أزمنة رد فعل ثمانية أشخاص فى مهمتين موضحتين على اليمين. معدل عن VanRullen and Koch, 2003a.

فى مخطط تريسمان، تُمثِّل الخصائص الأساسية وحدها صراحة، بينما تجتمع مصاحباتها، أو ترتبط، على "أساس قاعدة حسب الطلب"، طبقا لاحتياجات المهمة.

أطلق تفسير هذه التجارب برنامج بحث كامل فى علم النفس. لسوء الحظ، لم تُعمَّم الكثير من النتائج الأصلية بشكل جيد. بفحص أكثر دقة، وجد أن منحدرات البحث تختلف باستمرار تقريبا (١٠ ـ ١٥٠ ملى ثانية لكل عنصر أو أكثر) اعتماداً على التنظيم الدقيق للمحفِّز. وتقوض هذه البيانات بشدة الفرضية البسيطة عن الكشاف. إضافة إلى ذلك، بعض مهام البحث المقترنة ببعضها، مثل التى تجمع الحركة مع العمق أو الشكل، أو التى يُبحَث فيها عن شىء محدد بثلاث خصائص، سهلة جدا وتتقدم بالتوازى. لتسوية هذه الخلافات، افترضت تفسيرات مختلفة جذريا من فحص مسلسل للأشياء. وتؤكد هذه الفرضيات على تنافس مجموعات الخلايا العصبية المتنافسة على السيادة.

فى كل هذه التجارب، توجه المعرفةُ المجردة الانتباهَ؛ تشير إشارة إلى موضع أو يُطلَب منك البحث عن "T". ويسمى **الانتباه من أعلى إلى أسفل**، أو **المعتمد على المهمة**، أو **المنضبط إراديا**. ولأنك توجه انتباهك إلى منطقة محددة فى الفضاء، يسمى أيضًا الانتباه الموضعى.

يمكن تقسيم الانتباه من أعلى إلى أسفل إلى صفات خاصة، مثل "وردى" أو "حركة إلى اليمين". يوجه **الانتباه المعتمد على الخاصية** البحث خلال المجال البصرى كله لصالح الصفة المنتقاة. يتوجه ليعرف، على سبيل المثال، أن ابنتك فى هذا الحشد من الأطفال المتنافسين ترتدى فستانا ورديا، أو أن القمر الذى تتبعه فى سماء الليل يتحرك من الشرق إلى الغرب.

يمكن للانتباه الانتقائى استهداف الشىء كله أو محيطا مستطيلا. أى إنك حين تنتبه لخاصية واحدة فى محفز، تنتقى الخصائص الأخرى المرتبطة به مجانًا. إذا حدقت فى شيئين متشابكين فضائيا، مثل حرفين مطبوعين فوق بعضهما، يمكن بشكل انتقائى أن تنتبه لأحدهما أو للآخر. بشكل لافت، لن تتعرف على شكل الصورة التى لا تنتبه إليها، حتى إذا تداخلت مع الشىء موضع الانتباه.(١٨)

بإيجاز، يمكن تقسيم مصادر معالجة الانتباه إلى منطقة فى المجال البصرى، أو إلى خاصية واحدة مميزة فى كل مكان، أو إلى موضوع ممتد.

فى معظم التجارب المذكورة، يُدفَع الأشخاص إلى النظر من زاوية عيونهم. أى إلى الانتباه إلى موضع بعيد عن النقرة، نقطة الرؤية الأكثر حدة. وهذا شىء غير طبيعى إلى حد ما، إذا وضعنا فى الاعتبار الإلحاح الذى لا يُقاوَم تقريبا لحركة العينين نحو الهدف.[١٩] وترتبط تحولات العين والانتباه بقوة. تتداخل الدوائر العصبية للاثنين، وتحول الانتباه ضرورى للإعداد لحركة وشيكة للعين.[٢٠]

الأشياء البارزة تجذب الانتباه

بعض الأشياء لا تحتاج إلى انتباه موضعى لتُلاحَظ. إنها جلية بفضل الصفات الجوهرية مقارنة بما يحيط بها. وتشمل الأمثلة سترة عشاء حمراء على ربطة عنق رسمية سوداء داكنة، أو خطًا رأسيًا مطموراً ضمن خطوط رأسية. تجذب هذه الأشياء البارزة الانتباه بسرعة، مؤقتا، وتلقائيا (يتطلب الأمر جهدا متعمدا لتحاشى النظر إلى صور متحركة فى تليفزيون على حامل فى صالون). لا يعتمد بروز موضوع على مهمة أو سلوك؛ لا يتغير من مهمة إلى أخرى.[٢١] إذا كان المحفز بارزا بما يكفى، يبرز نتيجة الانتباه من أسفل إلى أعلى، شكل من أشكال الانتباه يعمل خلال المجال البصرى.

يوضح عرض الكمبيوتر أن استراتيجية الانتقاء المعتمد على البروز تفسر كثيرًا من أوجه تحولات الانتباه، وحركات العين، وتحديد الموضوع. يُضبَط الانتقاء بخريطة بروز صريح. لا تشفر الخلايا العصبية فى هذه الخريطة صفات معينة لمحفز، مثل اللون أو التوجه، بل تشفر التميز ـ أى مدى اختلاف المحفز عما يجاوره مباشرة. تنتقى آلية ـ للفائز كل شىء ـ الموضع الأكثر بروزا فى الخريطة حاليا ويوجه الانتباه إليه بآلية دخول. بعد برهة قصيرة، يُكبَح هذا الموضع فى خريطة البروز ويتحول الكشاف تلقائيا للموضع التالى الأكثر بروزا فى الصورة.[٢٢]

توحيد هذا الشكل من انتشار الانتباه من أسفل إلى أعلى والمعتمد على البروز مع الانتقاء الموضعى من أعلى إلى أسفل، الذى ناقشناه من قبل، يؤدى إلى إطار

للانتباه من مكونين اثنين (الجدول ٩ ـ١). [٢٣] الأول تلقائى ومؤقت، والأخير إرادى ومستمر (بالجهد). الانهماك المتعمد للانتباه فعال، لكن له ثمنًا. يستغرق وقتًا من أجل معلومات المُهِمَّة ("البحث عن علامة زائد") للتأثير على الجهاز البصرى. ويتطلب الانتباه الموضعى البقاء فى موضع الهدف المحتمل، والتحرر منه، والانتقال للموضع التالى. ويتراوح الزمن المقدر من بضع مئات من ملى ثانية إلى نصف الثانية أو أكثر لهذه العملية كلها.

تفسر نظرية الثنائية عمى التغير بشكل جيد: تحدد الشىء الذى يظهر ويختفى إذا كان بارزا جدا أو إذا انتبهت إليه. ودون ذلك يمر من المشهد غير مرئى.

الجدول ٩-١ شكلا انتقاء الانتباه

الخاصية	من أسفل إلى أعلى	من أعلى إلى أسفل
الخصوصية الفضائية	خلال مجال الرؤية	يمكن أن ينتقى صفة معينة
خصوصية الخاصية	يعمل فى كل الأوقات وفى كل أبعاد الخصائص (البروز)	
الزمن	مؤقت	مستمر (بالجهد)
الاعتماد على المهمة	لا	نعم
تحت سيطرة إرادية	لا محظور فضائيا	نعم

٩ ـ ٣ هل يتطلب الوعى انتباهاً؟

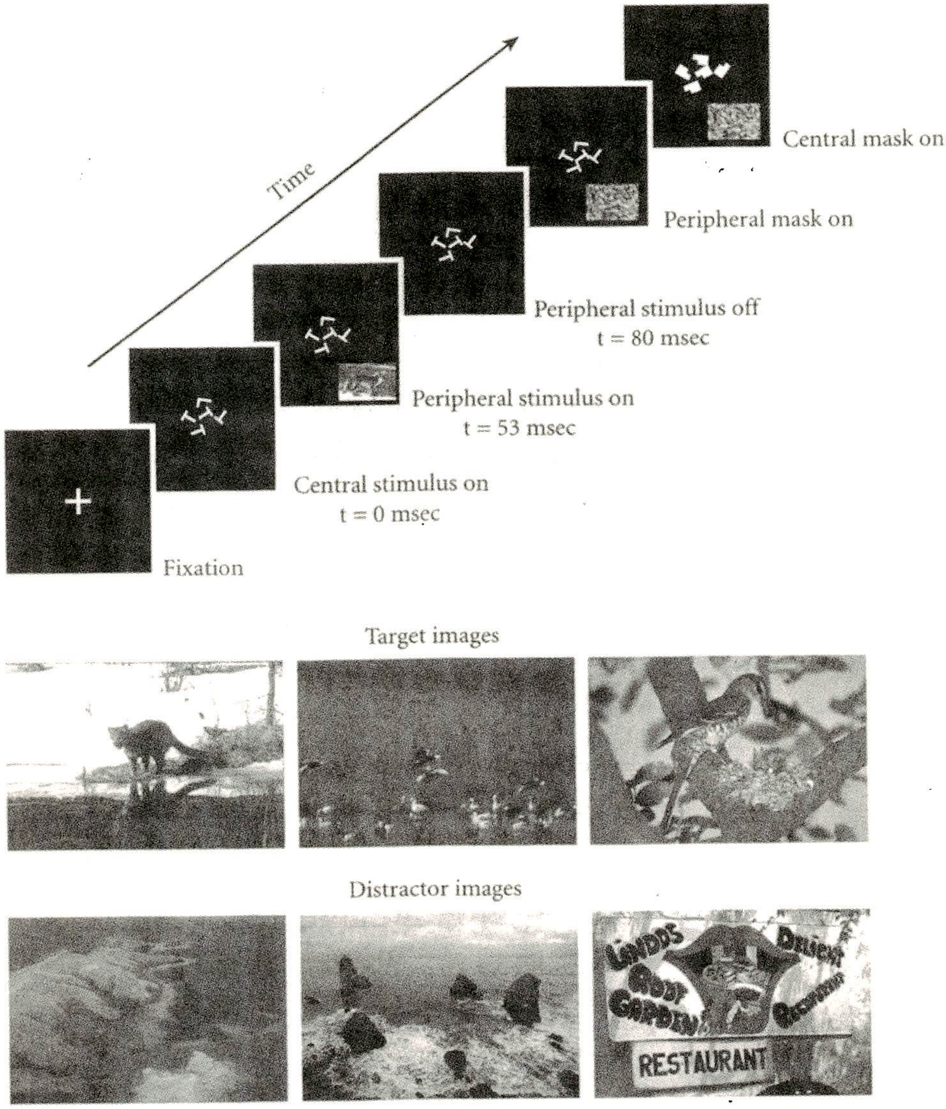
كما ذكرنا فى بداية هذا الفصل، يرى معظم علماء النفس أن الانتباه والوعى يرتبطان بصلابة ـ لا تعى إلا ما تنتبه إليه. وهو ما لا يتفق تماما مع الطريقة

التى يبدو بها العالم. حين أحدق متعمدا إلى جدار بعيد لتحديد شكله بدقة وما إن كانت به دعامات تكفى لتسلقه، لا يصبح باقى العالم رماديا شاحبًا. لا يتقلص العالم إلى منطقة مضاءة بكشاف الانتباه.(٢٤)

عمل شيئين فى وقت واحد

من طرق تقييم إن كان الانتباه ضروريا للوعى تأمل ما تراه حين يقيد الانتباه فى موضع آخر. يدرب يوشن برون Braun، يعمل الآن فى المملكة المتحدة فى جامعة بليموث Plymouth، أستاذ فى استخدام نموذج المهمة المزدوجة - يدرب أشخاصا فى مهمة تتطلب انتباهًا فى النقرة، حيث يثبتون عيونهم، ويقومون فى الوقت ذاته بمهمة ثانوية فى الأطراف، بزوايا عيونهم. فى إحدى هذه التجارب، كان عليهم تحديد هدف فى الأطراف مطمور فى مجموعة أشياء. إذا كان الهدف بارزًا بشكل كاف، إذا كان واضحًا ضمن حشد مشتتات، كان من السهل تحديده دون تداخل مع أداءٍ المهمة المركزية فى النقرة. يمكن للملاحظين المدربين تمييز حتى قضيبين فى الأطراف وتحديد لونهما وتوجههما، مع أداء المهمة المركزية بنجاح. أى مع انتباه من أعلى إلى أسفل مثبت فى تركيز العينين، يرى الأشخاص شيئا أو شيئين بعيدين تماما ما داما بارزين بشكل كافٍ. بكلمات برون "يتمتع الملاحظون بدرجة كبيرة من الوعى البصرى المحيط خارج بؤرة الانتباه."

يتحول هذا المجرى التافه من المعلومات عن محفزات اصطناعية خارج بؤرة الاهتمام إلى تيار متدفق بمجرد استخدام صور طبيعية. توضح تجارب المهمة المزدوجة التى أجراها فيفى لى FeiFei Li ورفين فان رولين VanRullen فى معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (الشكل ٩ ـ ٢) أن الانتباه الموضعى ليس مطلوبا للتعرف على وجود حيوان (أو مركبة) أو أكثر فى مشاهد طبيعية تومض لوقت قصير (على سبيل المثال، أجمات، مشاهد مدنية طبيعية، سفانا، إلخ). هذه النتيجة مدهشة للغاية ـ تحديد حيوان عشوائى فى صورة فوتوغرافية معقد تماما من المنظور الحسابى ـ ويفتقد لتفسير مناسب. فى تضاد صارخ، تتطلب مهمة تبدو أبسط، تمييز قرص مقسوم إلى أحمر وأخضر عن قرص مقسوم إلى أخضر وأحمر، انتباها موضعيا. (٢٦)



الشكل ٩ ـ٣ **الرؤية خارج بؤرة الاهتمام: فى مهمة مزدوجة،** على الأشخاص القيام بعملين. بتثبيت العين، عليهم أن يقرروا إن كانت الحروف المرئية لوقت قصير متماثلة جميعا أم أن فيها حرفا مختلفا. فى الوقت ذاته، عليهم الحكم إن كانت صورة فوتوغرافية ملونة لمشهد طبيعى يومض فى مكان ما فى الأطراف تحتوى على حيوان (هدف) أم أكثر أم لا تحتوى على أى حيوان (مشتت). من المثير للدهشة، يمكن للأشخاص عمل هذا، حتى لو أعيقوا إذا حل مكان المهمة الطرفية مهمة عليهم فيها تحديد إن كان قد ظهر قرص مقسوم أحمر وأخضر أم أخضر وأحمر فى موضع ما من الأطراف. معدل عن Li et la., 2002 .

إدراك الجوهر

إحدى المتع الكثيرة للحياة فى أمريكا الشمالية القيادة فى الخلاء لساعات فى الأطراف عبر السهول والصحارى وجبال الغرب، بمشاهدها الخلابة. يمكن أن أتأمل أسرارًا أو أستمع إلى رباعية فاجنر كاملة دون مقاطعة.(٢٧) أقود كما فى الطيار الآلى (يُقدِّم مثالٌ لجهاز مباشر أو تلقائى فى الفصل الثانى عشر)، وأركز فى الموسيقى، لا فى المشهد الجميل المتدفق بجانبى. لكن فى هذه الظروف المتباعدة، أعى الطريقَ المنحنى برفق أمامى، وشاحنةً تتحرك ببطء أمامى، ولوحةَ إعلانات بعيدة إلى اليمين، ومعبرًا يصادفنى، إلخ. رغم دراسة القليل فى المختبر، يتجول الناس غالبا فى العالم مستغرقين فى التفكير.

أرى الجوهر، تمثيلا سيمنطيقيا رفيع المستوى لمشاهد مألوفة يمكن فهمها حرفيًا فى ومضة. وصف موجز، تلخيص بليغ لما أمامى، خاليا من التفاصيل - جماهير مباراة كرة قدم، راكب دراجة وحيد، جبل. ربما يشمل الجوهر حتى حقيقة وجود حيوان، دون معرفة هويته أو موضعه (كما فى التجربة التى ناقشتها للتو). أظن أن إدراك الجوهر لا يتطلب انتباهًا موضعيا.(٢٨)

ربما تشفر الخلايا العصبية فى المراحل العليا من الجهاز البصرى الجوهر مباشرة بشكل صريح. ربما تستجيب هذه الخلايا السيمنطيقية، على سبيل المثال، لأىّ حيوان، أو لمشاهد مكتبية، أو لحشد من الأطفال.(٢٩) ربما يحدث إدراك الجوهر قبل الوعى بتفاصيل المشهد.(٣٠) لأن خلايا الجوهر توجد فى المراحل العليا من التدرج الهرمى (بينما تُمثِّل التفاصيل فى المناطق البدائية)، ربما ترسخ ائتلافًا سائدًا بسرعة، يكفى لإدراك واعٍ للجوهر. أبرهن فى الفصل الخامس عشر على أن الارتباطات العصبية للوعى تتطلب تغذية رجعية من لحاء مقدم الفص الجبهى، تؤثر فى المناطق العليا قبل التأثير على المناطق السفلى. وهذا يفسر أنك، إذا ومضت الصورة لوقت قصير جدا فقط، يبقى لديك شعور مميز برؤية كل ما أمامك دون أن تقدر على ذكر صفات مميزة. هذا هو الجوهر بدقة: رؤية الغابة لا الأشجار.

ربما يكون الانتباه الموضعي ضـرورة حتمية للإدراك

حين تنتبه لشيء تعيه عادة. أضفتُ كلمة "عادة" لأنه إذا اختُصِر بشدة زمن المعالجة أو مصادرها، فقد لا يكفي تضخيم الانتباه لمحفز ضعيف للوصول إلى الوعي.[٢١] ماذا بشأن العكس؟ هل يمكن أن تعي شيئا دون تركيز الانتباه بالضرورة على الحدث؟[٢٢]

يعمل الانتباه الموضعي مثل بواب للإدراك الواعي، لكنه ليس الوحيد. دوره مزدوج.[٢٣] الأول، كما تفترض نظرية تريسمان Treisman عن دمج الخواص feature-integration، ينبغي للانتباه أن يولِّد ديناميكيًّا اختيارات لا توجد صراحة في مستوى الخلايا الفردية. يحل مشكلة الارتباط للمحفزات الجديدة (يُفسَّر هذا في الصفحات التالية). الثاني، يساعد الانتباه على حل التنافس الذي يظهر عند اشتراك شيئين أو أكثر في تمثيل عصبي متداخل. يحدث هذا في المشاهد الطبيعية التي تضم أشياء عديدة. في هذه الحالة، يوجه الانتباه تشفير الائتلاف لشيء واحد، ويكبح التجمعات المنافسة ويقلص الشك العصبي. والانتباه الموضعي ليس مطلوبا لتحديد الخصائص المعزولة أو فئات الأشياء التي تُمثَّل صراحة بتأجج مجموعات الخلايا العليا في المسار البطني (إذا بدا هذا التفسير غامضا، لا تخف؛ أتوسع في هذه الأفكار في الفصل التالي).

هنا أدخل عالم التأمل؛ احتملني. ينتقي الانتباه من أعلى إلى أسفل، مواجَهًا بالعالم الواقعي، المسكون بأنواع مذهلة من أشياء ديناميكية معاقة جزئيا في بيئات تتسم بالفوضى والضجيج، ينتقي شيئًا واحدًا (أو بضعة أشياء؛ القسم ١١ ـ ٢) ويعزز تمثيله العصبي حتى يسود الائتلاف المرتبط به. إذا استمر هذا الائتلاف وقتا كافيا، يحدث الوعي بمُدرَك عند "رؤية" الشيء، وانتصار الائتلاف سريع الزوال؛ لأن الانتباه ينتقي بسرعة شيئا تاليا مهما وتبدأ مباراة جديدة.

ويتبع هذه الوظائف المفترضة للانتباه الموضعي أن الارتباط الديناميكي غير مطلوب (لوجود تمثيل صريح منجز بالفعل) وفي غياب تنافس حقيقي (لوجود شيء أو بضعة أشياء فقط متناثرة فضائيا في العالم) لا يكون الانتباه الموضعي

مطلوبا للوعى. فى عالم يتكون فقط من محفزات متماثلة ومعزولة وظاهرة بجلاء- مثل رقعة واحدة من نقط متحركة أو وجه- لا يكون الانتباه الموضعى ضروريا للتعرف عليها.

لأن شكل الانتباه المعتمد على البروز نشط دائما، فإنه يؤدى إلى نشاط عصبى ربما يطلق درجة مؤقتة من الوعى البصرى (انظر الجدول ٥ ـ ١). يسمى عالم النفس رونالد رنسينك Rensink هذه الائتلافات العصبية المستقرة ظاهريا الأشياء الأولية. دون توجيه آخر للانتباه، تتبدد هذه البنى بسرعة.[٣٤] ونتيجة لذلك يمر الشخص اليقظ دائما ببعض الخبرات البصرية. ولا تتوقف إلا بغلق العينين.

لهذه الخبرات المقترنة بإدراك الجوهر قدرة معلوماتية محدودة ـ كما يشهد على ذلك عمى التغير ـ لكنها قوية بما يكفى لنقل إحساس معزز للواقع، الاعتقاد بأنك ترى كل ما حولك.

كما ناقشنا فى سياق عمى التغير أو عمى عدم الانتباه، يجد الناس صعوبة فى رؤية غير المتوقع، مما يلقى الضوء على دور مختلف أو حتى نوع مختلف من الانتباه، مرتبط بتوقع الشخص. على سبيل المثال، على الأشخاص أن يتلقوا تدريبا شاملا قبل التعامل بنجاح مع تجارب المهام المزدوجة. فقط حين تكون لديهم توقعات قوية عما يحتمل أن يروه، يمكنهم تأدية المهمتين بنجاح. إضافة إلى ذلك، أعرف من خبراتى الخاصة أننى حين أنظر إلى محفز بصرى يعرض لفترة وجيزة جدا أول مرتين، يصعب اكتشاف شىء سوى إحساس مبهم "برؤية شىء ما". فى النهاية، بعد دستة محاولات أو أكثر، أرى مدركًا بصريا ثابتًا متشكلا تماما.

إذا اعتبر التوقع نوعًا من الانتباه، فمن المقبول أن تكون بعض أشكال الانتباه الانتقائى ضرورية، لكنها ليست كافية، لتشكيل مدرك شعورى. ومن المحبط أن نبرهن بقوة على هذا الادعاء دون تعريف إجرائى للانتباه. يجب توخى الدقة لكى لا نجسد الانتباه بشكل مبرر. على المستوى العصبى، قد لا يكون الانتباه إلا مجموعة آليات لتجميع ائتلافات مؤقتة من خلايا عصبية والتأثير على التنافس بين المحفزات. وحين لا تكون هذه الوظائف مطلوبة، قد لا يكون الانتباه مطلوبا

أيضًا. المناهج السيكولوجية المعاصرة فى ذاتها ليست قوية بما يكفى لحل هذه المسألة بشكل قاطع.

٩ ـ ٤ مشكلة الارتباط

قدم الفصل الثانى مشكلة الارتباط، وتنبثق من معمار الدماغ الذى يمثل فيه العالم الخارجى بنشاط عصبى فى مائة منطقة محددة أو أكثر.

افترضْ أننى أنظر إلى شاب مبتسم. يطلق وجهه نشاطًا فى المنطقة المغزلية للوجه وفى مناطق لحائية أخرى مكرسة للتعرف على الوجوه. ينشط لون بشرته خلايا اللون. ورأسه يميل للخلف والأمام، تولِّد الخلايا العصبية فى عدد هائل من المناطق التى تخدم الحركة شوكات. يطلق صوته وابلا من النشاط العصبى فى اللحاء السمعى والمناطق المرتبطة بالكلام، إلخ. ويُحَسُّ كل هذا النشاط المتباين فى شكل مدرك واحد متكامل: ابنى يتحدث إلى، وكان فون در ملسبرج Malsburg من أوائل من استكشفوا كيف يتحقق التكامل فى شبكات واسعة الانتشار فى الدماغ.(٣٥)

يأتى الارتباط فى نكهات مختلفة

يجب التمييز بين عدة أنواع من الارتباط. كما كتبت أنا وفرنسيس فى ١٩٩٠.(٣٦)

> يمكن أن يكون الارتباط أنواعًا عديدة. بمعنى أنه يمكن اعتبار استجابة خلية عصبية لخط موجه ارتباطًا لمجموعة نقط. ربما تتحدد المعلومات الواردة إلى هذه الخلية العصبية بالجينات وعمليات التطور التى تطورت نتيجة خبرة أسلافنا القدماء. يمكن اكتساب أشكال أخرى من الارتباط، مثل المطلوبة للتعرف على الأشياء الأليفة كحروف أبجدية معروفة جيدا، بخبرة تتكرر كثيرا؛ أى بالإفراط فى تعلمها. وربما يتضمن هذا أن الكثير من الخلايا العصبية المتورطة ترتبط معا نتيجة لذلك بقوة. (تذكرْ أن لمعظم الخلايا اللحائية عدة آلاف من الارتباطات والكثير منها قد يكون

ضعيفا فى البداية.) يحتمل أن يكون لكل من هذين النوعين من الارتباط قدرة كبيرة لكنها محدودة.

قد تكون الفئة الثانية من الارتباط مسئولة عن مشاهد وأصوات كثيرة فى الحياة اليومية. افترض أنك تنظر إلى سياسى شهير. يغطى وجهه الذى يطل عليك كثيرا جدا من شاشات التليفزيون والصحف والمجلات خلايا عصبية فى الأجزاء العليا من التدرج البصرى، تتعلم الاستجابة له بشكل متناثر وصريح (الشكل ٢-٢). يأتى تأجج هذه الخلايا العصبية ليرمز إليه. وتفعل الخلايا هذا بتحديد ارتباطات مشتركة فى المعلومات الواردة إليها وتعديل مشابكها والخصائص الأخرى لتستجيب لها بسهولة أكبر. مازالت الطريقة الدقيقة لحدوث هذا موضع خلاف. يتضمن وجود هذه الخلايا العصبية أن الخاصية التى ترمز إليها ربما تكتشف دون استخدام الانتباه من أعلى إلى أسفل. يمكن اختبار هذا الحدس بطريقة المهمة المزدوجة.

لأن هذه الخلايا العصبية الخاصة تُجنَّد عادةً بسرعة لتشارك فى تخزين المشاهد المعروفة حديثا والتعرف عليها، فمن المحتمل أن يكون معظم ما تحس به يوميا مشفرًا بالتعليم المتكرر. وجوه العائلة والأصدقاء والمشاهير، وحيوانك الأليف، وسيارتك، والبنط الذى تستخدمه فى الوثائق الشخصية، وتمثال الحرية، إلخ، ربما تمثلها الخلايا العصبية المكرسة، وتحل مشكلة الارتباط فى الأجهزة. (٢٧)

وهكذا مضينا، أنا وفرنسيس، لنفترض آلية ارتباط ثالث.

الارتباط الذى نهتم به بشكل خاص نوع ثالث، لا يتحدد بتأثيرات خارجية ولا يُتعلَّم بالتكرار. وينطبق خاصة على أشياء قد يكون الاتحاد الدقيق لخصائصها جديدا تمامًا علينا. من غير المرجح تماما أن تكون الخلايا العصبية المتورطة بنشاط مرتبطة معا بقوة، على الأقل فى معظم الحالات. ينبغى انبثاق هذا الارتباط بسرعة. بطبيعته الحقيقية يكون مؤقتا عموما وقدرته الكامنة غير محدودة تقريبا، رغم محدودية قدرته فى أى وقت. إذا تكرر محفز خاص

كثيرا، ربما يشيد هذا النوع من الارتباط المؤقت فى النهاية النوع الثانى من الارتباط بالتعليم المتكرر.

ويتطلب هذا الشكل من أشكال الارتباط ، فى رأينا، الانتباه الموضعى. يسمح لك برؤية مواضيع غير مألوفة أو أشياء مألوفة فى أشكال متحدة لم تجربها من قبل.[٣٨] ربما يتحقق هذا الشكل بتذبذبات متزامنة، مثل تلك التى تؤججها الخلايا العصبية فى المناطق المتنوعة التى تشفر للشىء موضع الانتباه بطريقة متناغمة ومتزامنة (انظر الهامش ٣٩ فى هذا الفصل).

ارتباط أشياء متعددة والارتباطات الوهمية

يبدو ارتباط شىء واحد معقَّدًا بما يكفى، لكنِ الدماغ يواجه تحديا أكثر رهبة عند مواجهة أشياء متعددة. فى المناطق الطوبوجرافية البدائية، مثل اللحاء البصرى الأولي والمنطقة البصرية الثانية، تشفر الحافات والألوان والعناصر الأولية الأخرى المرتبطة بأشياء فى نقط مختلفة من المشهد فى أجزاء مختلفة من اللحاء بشكل مناظر. لا يوجد تداخل غالبًا أو لا يوجد إلا تداخل ضئيل. لكن ماذا عن المناطق البطنية رفيعة المستوى التى لا يوجد فيها نظام طوبوجرافى (أو لا يوجد فيها إلا بشكل ضعيف)؟ يكون، غالبا، لشيئين محددين فضائيا تمثيل عصبى متداخل مما يؤدى إلى احتمال حدوث التباس.

افترض أنك تنظر إلى كلبين، كلب شيفرد ألمانى أسود بوشاح أحمر حول رقبته وكلب كوفش أبيض بوشاح أزرق. ستكون فى مناطق الدماغ التى تمثل الألوان والأشياء، أربع مجموعات نشطة على الأقل- واحدة للشيفرد الألمانى، وواحدة للكوفش، وواحدة للوشاح الأحمر، وواحدة للوشاح الأزرق. لكن كيف يعرف الدماغ أن نشاط مجموعة "الوشاح الأحمر" تسير مع مجموعة "الكلب الأسود"؟ كل شىء آخر متساو، يمكن أن تفسر المرحلةُ التالية هذا النمطَ من النشاط بأنه كلب أسود يضع وشاحا أزرق (وهم، بتعبير آخر). تحدث هذه الأوهام أحيانًا. تحدث **أخطاء الارتباط** - الخلط بين صفات شىء وصفات شىء آخر - حين يكون وقت المعالجة مختصرا بشدة.[٣٩]

ربما تتعامل معها المناطق غير الطوبوجرافية فى الدماغ البصرى بتكوين شبكة خلايا تمثل كلب حراسة أسود بوشاح أحمر، لكن هذا يستهلك وقتًا ويربط عددًا كبيرًا من الخلايا العصبية. بشكل بديل، كما اقترح فون در ملسبورج، يمكن أن يستغل الدماغُ التزامنَ المؤقت لتفريغ الشوكات لتحديد الائتلافات العصبية المناسبة بطرق مختلفة.(٤٠) تُتجنَّب الصعوبة فى اللحاء البصرى الأولي والمناطق الطوبوجرافية المرتبطة بها؛ لأن صورتى الكلبين تحتلان موقعين مختلفين؛ ومن ثم تستثيران مجموعات مختلفة من الخلايا دون التباس.

٩ ـ ٥ الملخص

تمنع آليات الانتقاء العصبى العبء الزائد للمعلومات بالسماح فقط لكسر من كل البيانات الحسية بالمرور إلى الوعى. عمى التغيير، وعمى عدم الانتباه، والعروض السحرية إيضاحات تفرض نفسها للفشل فى ملاحظة أشياء أمام عينيك إذا لم تنتبه لها أو تلفت انتباهك.

يتأسس قدر كبير من الأدلة الجسدية النفسية على نماذج البحث البصرى والمهمة المزدوجة، يمكن تلخيصه بافتراض آليتى انتقاء، أعنى الانتباه من أسفل إلى أعلى، وهو مؤقت ويعتمد على البروز، والانتباه من أعلى إلى أسفل، وهو مستمر وموضعى. يُدفَع الانتباه المعتمد على البروز بخصائص صورة حقيقية، مثل وجود خاصية تتصل بجيرانها. يعمل بسرعة وتلقائية، خلال المجال البصرى كله، ويتوسط البروز. فى السياق العادى للأحداث، لا يتوقف هذا الشكل من الانتباه إلا بإغلاق العينين. يستغرق الانتباه الإرادى من أعلى إلى أسفل وقتًا أطول للانتشار ويمكن توجيهه إلى منطقة بعيدة فى الفضاء، إلى أشياء فردية، أو إلى صفات خاصة خلال المجال البصرى.

الانتباه والوعى عمليتان متميزتان. ربما يكون نوع ما من انتقاء الانتباه ضروريا، لكنه ليس كافيا، للإدراك الواعى. حين تنتبه لشىء، لا يختفى باقى العالم. حتى حين تستغرق فى التفكير، تبقى واعيا بجوهر المشهد الذى أمامك. بالاتحاد مع الأشياء الأولية- التجمعات العصبية ليس لديها وقت كافٍ لترسيخها بشكل حقيقى- يتوسط التمثيل العصبى للجوهر الإحساس الغنى برؤيةٍ كل شىء.

من أدوار الانتباه الموضعى حل التنافس عند تمثيل شيئين أو أكثر فى الشبكة العصبية نفسها. فى تلك الحالة، يوجه الانتباه التشفير المجمع لشىء واحد، ويكبح الآخر.

ناقشتُ مشكلة الارتباط: كيف نحس بالمدرك موحَّدًا وتمثيله العصبى متناثر فى كل أرجاء الدماغ؟ تصبح هذه المشكلة أكثر حدة حين يتطلب الأمر تمثيل شيئين أو أكثر؛ حين لا يكون هناك وقت كاف للمعالجة، قد تحدث أخطاء فى الارتباط، الارتباطات الوهمية.

يتمتع الدماغ بثلاث آليات متميزة للتكامل للتعامل مع مشكلة الارتباط. الأولى حشد المعلومات الموجودة فى الجينات والخبرات الحسية الأولية مندفعة إلى خلايا عصبية تستجيب صراحة لاتحاد خاصيتين أو أكثر. تتضمن الآلية الثانية التعليم السريع. إذا واجهت الشىء نفسه مرات عديدة، تجدد الخلايا العصبية وصلاتها لتمثله صراحة. هذه الاستراتيجية فعالة ولا تتطلب كمية مغالى فيها من الأجهزة. يتعامل النوع الثالث من الارتباط مع أشياء جديدة لم تُجرَّب من قبل أو مجموعات منها. يولد ديناميكيا اختيارات عصبية لا توجد صراحة على مستوى الخلايا الفردية وتعتمد على الانتباه الموضعى.

كيف تتحقق آليات انتقاء الانتباه؟ كيف يؤثر الانتباه فى تأجج الخلايا العصبية؟ يمدنا فهم هذا بدروس مهمة عن الارتباطات العصبية للوعى. واصل القراءة.

الهوامش:

(١) ما تعيه مشهد منقًى للعالم لأشياء رفيعة المستوى تماما، مثل الحروف على لوحة مفاتيح، أو كلاب تجرى حولك، أو جبال تحت سماء زرقاء مخضرة. وهذا من الأسباب التى تجعل مشهدا واقعيا بالغ الصعوبة. يرسم أشخاص غير مدربين طريقة رؤيتهم، باستخدام أشياء مجردة، بحيث تبدو الصورة فى النهاية طفولية ساذجة. يتطلب الأمر كثيرا من الممارسة للقيام بتخطيط باستخدام رقع سطحية مختلفة الكثافة والحافات وتنوع دقيق فى البنية.

(٢) يقدم Ullman, 1984؛ Tsotsos, 1990 براهين حسابية على الأسباب التى قد تجعل الدماغ، بمعماره المتوازى بشكل هائل، يحتاج إلى انتباه موضعى. يقدم Lennie, 2003 برهانا على أساس التكلفة الأيضية للنشاط الشوكى.

(٣) للانتباه دلالة أكثر شمولية أيضًا. تنصح معلمة تلاميذها "بالانتباه" حين تريد منهم التركيز، التطلع إليها واتباع تعليماتها. يتضمن هذا الشكل الشامل من الانتباه، المرتبط باليقظة والتحفز، استجابة فضائية موجهة- لفت العينين والرأس- وتكريس الموارد الذهنية للمهمة الحالية. يمكن أن يعيق عدمُ النوم أو آثارُ الكحول اليقظةَ. تعتمد اليقظة على البقعة الزرقاء ونوى أخرى فى جذع الدماغ (الفصل الخامس).

(٤) Krakauer, 1990.

(٥) وليم جيمس James (١٨٤٢ ـ ١٩١٠): عالم نفس وفيلسوف أمريكى (المترجم). من كتابه الخالد "مبادئ علم النفس The Principle of Psychology" (James, 1890).

(٦) تتضمن البحوث الحديثة عن الانتباه الانتقائى

Treisman, (1988); Nakayama and Mackeben, (1989) ؛Braun and Sagi, (1990) Braun and Julesz, ؛ Pashler, (1998) ؛Parasuraman, (1998) and Braun, Koch and Davis, (2001).

(٧) أشاع Rensink, O'Regan and Clark, 1997 عمى التغير بمشاهد طبيعية وامضة تفصل بينها فترات قصيرة خالية (O'Regan, Rensink and Clark,1999) انظر أيضًا Blackmore et al., 1995؛ Grimes, 1996؛ Simons and Levin, 1997. يمكن أن يحدث

عمى التغير أيضًا فى مشاهد مختزلة (Wilken, 2001). ترجع الظاهرة نفسها إلى تجارب فى القرن التاسع عشر قاست مدى الفهم. عليك الاطلاع على بعض هذه الأوهام بنفسك بالتجول بين المواقع ذات الصلة على الويب.

(٨) سجل Simons and Levin, 1997, 1998؛ Simons and Chabris, 1999 كيف يمكن أن يعمى أشخاص عليهم اقتفاء كرتين فى مباراة عن رؤية طالب فى لبس غوريلا يسير ببطء عبر الملعب. وبشكل مماثل، يفشل رواد السينما عادة فى ملاحظة كل أخطاء الاستمرارية إلا أكثرها وضوحًا (Dmytryk, 1984). ربما لا يرتدى الممثلون، مثلا، الملابس ذاتها من مشهد إلى التالى، أو ربما لا يكون التمثيل فى مشهد مغلقا مؤقتا إلى اللقطة التالية، أو قد يكون شعر الممثل مبتلا من المطر ويصبح جافا فجأة داخل الغرفة. هل يعى هواة فيلم ريدلى سكوت Scott "العداء البارع" Blade Runner، فيلم أسود من الخيال العلمى، أكثر من دستين من اللقطات غير المتوافقة، قطع صغيرة من الحوار الفاسد، وأخطاء فاضحة أخرى فى هذا الفيلم الكلاسيكى الذى يحظى بالكثير من الإعجاب (Sammon, 1996)؟

(٩) يوصف عمى عدم الانتباه فى دراسة Mack and Rock, 1998. على الأشخاص التركيز فى صليب وتقرير إن كانت ذراعه الأفقية أطول أم أقصر من ذراعه الرأسية. بعد ثلاث محاولات يضاف شىء غير متوقع، مثل مربع أو مثلث صغير ملون، دون تحذير، إلى العرض. بعد ذلك مباشرة، سُئل الأشخاص إن كانوا لاحظوا شيئًا. بعد ثلاث محاولات أخرى مع الصليب، أضيف الشىء الإضافى نفسه إلى العرض مرة أخرى. فى النهاية، محاولة ضابطة، طُلب من الأشخاص إهمال الصليب وملاحظة المحفز الإضافى (مع الاستمرار فى التركيز على الصليب). بشكل لافت، لم ير الأشخاص المحفز حين لم يكن متوقعا تماما (فى المحاولة الرابعة). استطاع الأشخاص الأكثر ملاحظة وصف اتجاهه ولونه وحركته وموضعه بشكل معقول. لم يستطع أحد تمييز شكله (على سبيل المثال، مثلث أم صليب أو مستطيل). وفى المحاولة الأخيرة رأى الجميع الشىء الإضافى بوضوح. فى صورة مختلفة من هذا النموذج، أُسقِط الصليب بعيدا عن نقطة التركيز بحيث لا يرى إلا بطرف العين. حين أومض الشىء بصورة غير متوقعة فى النقرة مباشرة وكان على الأشخاص إتمام المهمة الضابطة فى الأطراف، فشل الجميع تقريبا فى رؤيته.

(١٠) عند عرض فيديو هذه المقاربات، فزع الطيارون من افتقارهم لرد الفعل (Haines, 1991)، يبرهن Gladwell, 2001 على أن الكثير من حوادث المرور تحدث نتيجة لعدم الانتباه.

(١١) يقلل الانتباه إلى حد كبير عتبات التمييز الفضائى ومهمات التحديد (Wen Koch and Braun, 1997؛ Lee et al., 1999). توصف تجربة بوسنر فى Posner, Snyder and Davidson, 1980. ربما تكون فائدة الانتباه أكثر بكثير من ٣٠ ـ ٥٠ ملى ثانية الموجودة فى هذه التجربة مع عرض كمبيوتر خال تماما تقريبا.

(١٢) ينتقد Gave and Bichot, 1999 استعارة الكشاف على أساس أنها تقدم بصيرة خطأ لعمل الانتباه. افترض Sperling and Weichselgartner, 1995 التماثل مع ضوء المسرح.

(١٣) آن تريسمان Treisman (١٩٣٥ ـ) : عالمة بريطانية. بيلا يوليتش Julesz (١٩٢٨-٢٠٠٣): عالم مجرى هاجر إلى أمريكا سنة ١٩٥٦ (المترجم).

(١٤) فى نصف المحاولات، لم يُعرَضْ هدفٌ وكان على الأشخاص تحديد الهدف دون تحريك عيونهم (Bergan and Julesz, ؛Julesz, 1981 ؛Treisman and Gelade, 1980 ؛Wolfe, 1992, 1998a ؛Treisman, 1988, 1998,1983). انتقل نموذج البحث البصرى إلى كتب الأطفال حيث يبحث القارئ عن والدو Waldo، بياقته المخططة بالأحمر والأبيض وقبعته المضحكة، وسط مشاهد تضم مئات المهرجين والحيوانات وأشياء أخرى.

(١٥) انظر التعليق الكلاسيكى Köhler, 1969 ؛Koffka, 1935. يعرض الكتاب الدراسى Palmer, 1999 رأيا جديدا.

(١٦) لاحظ أن الاختلافات البسيطة فى الهدف يمكن أن تحول بحثا متوازيا إلى بحث مسلسل. فى حالة الشكل ٩-٢ تبرز "+" ولا تبرز "T"، رغم تشييد الاثنين من الخطين المتعامدين ذاتهما، وطمرهما بين مشتتات مشيدة من العناصر ذاتها (Julesz, 1981) .

(١٧) تحدى هذا التفسير Chun and Wolfe, 1996.

(١٨) تُراجع الفيزياء النفسية للانتباه المعتمد على الخاصية ببراعة فى Wolfe, 1994. عن علم نفس الانتباه المعتمد على الموضوع، انظر Jolicoeur, Ullman, ؛Duncan, 1984 Driver and Baylis, 1998. ؛Kanwisher and Driver, 1997 ؛and MacKay, 1986 وتوصف التجربة الكلاسيكية عن الانتباه إلى شكل من شكلين متداخلين فى Rock and Gutman, 1981.

(١٩) فى معسكر تأهيل عسكرى، كثيرا ما يصرخ عريف التدريب فى مجند سيئ الحظ لمخالفة ضئيلة، وعلى الجندى أن يبقى منتبها، محدقا أمامه مباشرة، ويوضح التأديب المطلوب لكبح الحدبة التوأمية العليا بواسطة اللحاء.

(٢٠) يستكشف الارتباطات بين تحريك العينين وتحول "العين الداخلية" من منظور علم النفس Shepherd, Findlay and Hockey, 1986، وعلى مستوى علم الأعصاب Corbetta, 1998 ؛Astafiev et al., 2003. طبقا لنظرية ما قبل الحركى، تحدث تحولات الانتباه إلى نقطة فى المجال البصرى لأن الجهاز الحركى للعينين يستعد لتحريك العينين إلى ذلك الموضع (Kustov and Robinson, 1996 ؛ Sheliga, Riggio and Rizzolatti, . 1994).

(٢١) يمكن تناول البروز دون التأثير بالضرورة على مظهر الأشياء (Sperling and Lu, Blaser, 1999).

(٢٢) افترض Koch and Ullman, 1985 فى الأصل خريطة بروز شبكى باعتبارها استراتيجية انتقائية للانتباه. توجد الأفكار المرتبطة بالموضوع فى تقاليد علم النفس فى Treisman and Gelade, 1980؛ Wolfe, 1994. انجز Itti, Itti, Koch and Niebur,1998؛ Itti and Koch, 2000 هذا التخطيط فى مجموعة حسابات للرؤية تطبق على مشاهد الفيديو أو المشاهد الطبيعية. أجهزة الرؤية الآلية المشيدة حول خريطة بروز تعمل جيدا فى اكتشاف الأشياء "الشائقة" واقتفائها وتحديدها (Walther et al., 2002). يراجع Itti and Koch, 2001 أدلة من فسيولوجيا الأعصاب وعلم النفس على خرائط البروز فى الدماغ. تتجنب نماذج أخرى للانتباه (Hamker and Worcester, 2002؛ Rolls and Deco, 2002؛ Hamker, 2004) خريطة البروز الصريح، وتعتمد على تفاعل يتكرر ديناميكيا بين مناطق اللحاء.

(٢٣) يرجع هذا الإطار إلى James, 1890. يسمى هذان النوعان من الانتباه أيضا الانتباه الخارجى (من أسفل إلى أعلى) والانتباه الداخلى (من أعلى إلى أسفل). انظر . Nakayama and Mackeben, (1989); Shimojo, Tanaka and Watanabe,1996. Egeth and Yantis (1997); Braun and Julesz, (1998) Duncan 1998 and VanRullen and Koch, Koch, (2003a).

أستخدم هنا مصطلح الانتباه من أعلى إلى أسفل كما استخدمته بشكل إجرائى نماذج المهمة المزدوجة والبحث البصرى.

(٢٤) يحدث شىء من هذا القبيل فى متلازمة بلينت Balint، حالة عصبية نادرة نناقشها فى القسم ١٠-٣.

(٢٥) Sperling and Dosher, 1986؛ Braun and Sagi, 1990؛ Braun and Braun, 1994؛ Julesz, 1998. قيادة سيارة مع استخدام تليفون محمول مثال يومى للمهمة المزدوجة. لسوء الحظ، توضح التجارب (Strayer and Johnston, 2001) أن متطلبات الانتباه للانهماك فى محادثة تقلل بشكل كبير فرص تحديد إشارات المرور وتزيد من زمن رد فعل السائق معها. لا يختلف الأمر سواء كان التليفون فى اليد أم لا. ومن ثم لا تقد سيارة وأنت تتحدث فى التليفون؛ انظر أيضًا de Fockert et al., 2001.

(٢٦) Li et al., 2002؛ انظر أيضًا Rousselet, Fabre-Thrope and Thrope, 2002 والتعليق الشامل فى Braun, 2003. توضح تجارب مماثلة أن الانتباه الموضعى ليس مطلوبا لتمييز وجوه الرجال من وجوه النساء - (Reddy, Wilken, and Koch, 2004).

(٢٧) Ring des Nibelungen ، سلسلة من أربع أوبرات ملحمية للموسيقار الألمانى ريتشارد فاجنر (١٨١٣-١٨٨٣) (المترجم).

(٢٨) الجوهر محصن من عمى عدم الانتباه (Mack and Rock, 1998).

(٢٩) للاطلاع على الفيـزياء النفسـية للجـوهر البصـرى، انظـر Potter and Levi, 1969؛ Biederman, 1972؛ Wolfe and Bennett, 1997؛ Wolfe, 1998b. تسـتجيب الخلايا الفردية فى الفص الصدغى المتوسط فى البشر لفئات سيمنطيقية رفيعة بمعنى الكلمة، مثل صور الحيوانات أو المشاهير .(Kreiman, Koch and Fried, 2000a) ربما تكون جزءا من الارتباطات العصبية لإدراك الجوهر. الجوهر، بطبيعته الحقيقية، ثابت مع التغيرات الكبيرة فى محتوى المشهد. وهكذا يبقى الجوهر على حاله أثناء معالجة الصورة التى تحدث فى عمى التغير (الشكل ٩-١).

(٣٠) يوجد برهان مماثل فى Hochstein and Ahissar, 2002.

(٣١) أوضح Naccache, Blandin and Dehaene, 2002 أن إعداد كلمة لا واعية حدث فقط إذا انتبه الأشخاص إلى المحفز. دون انتباه، لم يحدث أى إعداد. كان الانتباه لمحفز مقنَّعًا بما يكفى للتحضير وليس لرؤية الكلمة. سُجِّل أيضًا الانتباه دون وعى بصرى فى عمى البصر (انظر القسم ١٣-٢؛ .(Kentridge, Heywood and Weiskrantz, 1999)

(٣٢) انظر أيضًا Lamme, 2003؛ Hardcastle, 2003.

(٣٣) VanRullen and Koch, 2003a؛ VanRullen, Reddy and Koch, 2004.

(٣٤) بالانتباه إليها قد تقوى وتكون فى متناول الذاكرة أو مراحل التخطيط (Rensink, 2000a,b) ثمة فكرة مرتبطة بها يقدمها جيمس وهى الوعى الهامشى .(James, 1962 Galin, 1997)

(٣٥) تعود جذور مشكلة الارتباط، بشكل ما، إلى إيمانويل كانط Kant، (١٧٢٤ ـ ١٨٠٤، فيلسوف ألمانى ـ المترجم) فى نهاية القرن الثامن عشر. افتُرِض الارتباط بالتزامن فى Milner, 1974؛ von der Malsburg, 1981 . للاطلاع على تعليقات أحدث، انظر von det Robertson, 2003 Treisman, 1996 Malsburg, 1995,1999 . أثارت بعض التجارب الحديثة، ناقشناها فى القسم ١٥ ـ ٢ شكوكا بشأن الدقة الزمنية التى ترتبط بها صفات متعددة فى مدرك واحد. فى مدى زمنى من ٥٠ ملى ثانية، يمكن أن يتكسر مدرك موحد.

(٣٦) عن Crick and Koch, 1990a.

(٣٧) تعتمد سرعة عمل هذه الآلية على مستوى تدرج المعالجة، الذى توضع فيه الخلايا العصبية ذات الصلة. فى مناطق بدائية، مثل اللحاء البصرى الأولي، يتطلب تعلم خصائص منخفضة المستوى التعرض كثيرا، ويمكن تذكر خبرة واحدة بالفص الصدغى المتوسط.

(٣٨) توجد تلميحات من مريض مصاب بتلف فى اللحاء الجدارى بأن الارتباط المؤقت يمكن أن يحدث دون أن يؤدى إلى الوعى (Wojciculik and Kanwisher,1998). أى إن الارتباط ليس كافيا، فى ذاته، للإدراك الواعى.

(٣٩) Treisman and Schmidt, 1982؛ Treisman, 1998. يقدم Tsal, 1989؛ Wolfe and Cave تعليقًا بديلا.

(٤٠) يمكن ربط صفات متعددة بأشياء متعددة باستخدام ترددات مختلفة، تأجيل مراحل مختلفة داخل تردد معين، أو بمضاعفة حزمتى تردد، حامل تردد منخفض وإشارة تردد عالية، كما فى راديو FM (Lisman and Idiart, 1995). ربما تريد العودة إلى القسم ٢ ـ ٣، إلى التماثل الجزئى مع ومضات الأضواء الكهربية على شجرة الكريسماس.

الفصـل العاشـر

الأسـس العصبيـة للانتبـاه

ينبغى جعل كل شىء بسيطا قدر المستطاع، لا أبسط.

تنسب إلى ألبرت آينشتاين

تغفل عن الكثير مما يدور حولك. كما عرفْتَ للتو فى الفصل السابق، تنتبه بشكل انتقائى لأماكن أو أشياء أو ما يدور فى العالم، مكرسا موارد معالجة الانتباه لتحليلها. وبشكل خاص تعيها عادة. لا تستجيب تقريبا لشىء آخر. للمعالجة الانتقائية، إذن، ثمنها - بحر هائل من أحداث تدركها الأعصاب. لا تعمل هذه الاستراتيجية إلا إذا كانت طريقة انتقاء الانتباه للأشياء سريعة، ماهرة تماما، وتعرف كيف تتعامل مع التهديدات الجديدة.

كيف تعمل هذه الآليات الانتقائية؟ يتحدث علماء النفس عن محدودية المعالجة وعنق زجاجة الانتباه، لكن للدماغ معمارًا متطورًا متوازيا إلى حد بعيد، مع بيئة مخططة فى عدد كبير من المناطق اللحائية. كيف تنبثق خاصية تسلسل الانتباه والوعى من هذه الشبكات المتناثرة بشكل هائل؟

قبل مناقشة البيانات المرتبطة بالموضوع، نستعيد استعارة الانتخاب، التى قدمناها فى القسم ٢-١. الانتخابات الديموقراطية فى بلد مزدحم بالسكان، مثل الهند أو الولايات المتحدة، وتضم كل منهما مئات الملايين من المواطنين الذين يصوتون بشكل مستقل، مسائل متوازية إلى حد كبير حقا. فى النهاية، يكون

شـخص واحـد فـقـط من حـزب واحـد رئـيس الـوزراء أو الـرئـيس. وهـذا يـنـاظـر الائـتـلاف العصبى الفـائـز الذى يمثل مـا تعيه. ببعض الانتظام (تعيقه أحيانا الاستقالات أو الاغتيالات)، يُستبدَل القادة، مثلما تتحول بؤرة الانتباه من شىء إلى التالى. يتطلب الانتخاب أو تمرير التشريع أحلافًا مؤقتة لتشكيله ضمن اهتمامات متنافسة. على سبيل المثال، ربما يساند مشروع كبير مؤقتا نقابات العمال لهزيمة مرشح يشجع النظم البيئية الصارمة، لكن بمجرد اكتمال هذا الهدف، ربما يقاتل لتحرير الأسواق. قد تكون العلاقات بين الأفراد - ارتباطهم - كثيرة جدا. لكن معظم الناس ليسوا اجتماعيين تماما مثل بعض الخلايا العصبية الهرمية التى تستقبل المعلومات الواردة من آلاف الخلايا الأخرى وترسل المعلومات إليها.[1]

وهذا التماثل الجزئى فى الذهن، نتحول إلى كيفية تأثير الانتباه فى الشبكات العصبية فى الدماغ. إذا وضعنا فى الاعتبار العلاقة المتينة، وإن تكن غير قاطعة، بين الانتباه والوعى، فثمة دروس على علاقة مباشرة بالارتباطات العصبية للوعى يجب تعلمها.

١٠ - ١ تفسيرات ميكانيكية للانتباه

نتذكر من القسم ٩ - ٣ أن وظيفتى الانتباه ربط الخصائص ديناميكيا لأشياء ليس لها تمثيل عصبى صريح، وحل التنافس الناشئ عند تمثيل أشياء أو أحداث متعددة فى الشبكة ذاتها.

لسوء الحظ، يمثل الاختبار المباشر لفرضية الارتباط معركة صعبة ضد نوع عصبى من مبدأ الشك لهايزنبرج.[2] أى كلما زاد جس الدماغ، زاد تغيره. يتطلب تقييم التزامن أثناء الانتباه الموضعى تعليم القرد نوعًا من مهام التمييز البصرى. التدريب الضرورى شامل. يستغرق بضع ساعات يوميا، يوما بعد يوم، على مدى شهور كثيرة جدا. حين يستطيع القرد تنفيذ المهمة بكفاءة، يكون قد رأى المحفزات آلاف المرات، مما يؤكد تكوين تمثيل عصبى صريح يرمز لمختلف المعلومات الواردة. أى إن الارتباط قد يتحول من التحقق ديناميكيا عبر مجموعة كبيرة من الخلايا العصبية إلى الحل على مستوى الخلية العصبية الواحدة. يمكن تجنب التعليم المتكرر باستخدام أشياء غير مألوفة للحيوان، لكن إذا لم تؤخذ التدابير

اللازمة، فمن المرجح أن يربكه ذلك. لم يُعرَفْ إلا القليل، من ناحية أخرى، عن كيفية تأثير الانتباه فى التنافس بين الخلايا العصبية.(٣)

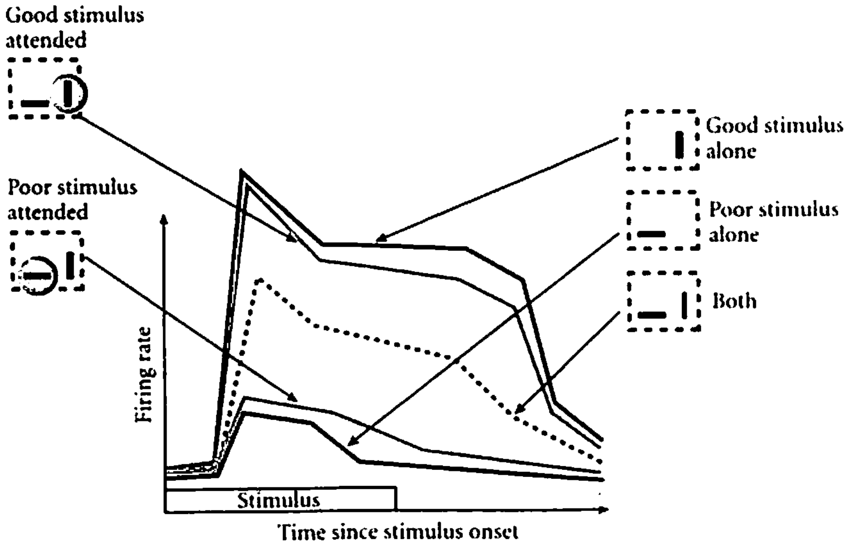


الشكل ١٠ ـ١ **الاحتياج إلى الانتباه:** افترض أنك تنظر إلى أسرتى فى هذه الصورة الفوتوغرافية للتخرج فى المدرسة الثانوية. ركَّبتُ، بطريقة تخطيطية، مجالات الاستقبال المثالية لخلايا عصبية نموذجية من أربع مراحل على طول مسار الرؤية للإدراك. يسمح الانتباه للخلايا بأن تحد بشكل فعال من معلوماتها الواردة إلى منطقة فرعية فى مجال إدراكها، معززة قدرتها على الانتقاء والاستجابة.

التنافس الموجَّه

أو أصل عنق زجاجة الانتباه

مجالات الاستقبال فى اللحاء البصرى الأولي - خاصة تلك التى تغطى النقرة- صغيرة (أقل من درجة). فى مراحل متعاقبة فى التيار البطنى، يزداد حجم مجال الاستقبال بشكل ثابت حتى يشمل جزءا كبيرا من المجال البصرى كله فى اللحاء الصدغى السفلى (ويحتفظ بتحيز لمحفزات النقرة). فى الظروف الطبيعية، يعنى هذا أن الخلايا العصبية فى هذه المراحل العليا تستقبل مزيجًا من الأشياء بوصفها معلومات واردة. فى الشكل ١٠-١ اتحاد لوجه ابنى ووجه ابنتى. وهذا محير للخلية ومن المرجح أن تستجيب بشكل ضعيف فقط. يمكن الكسب أكثر إذا اقتصرت المعلومات البصرية الواردة حول شىء واحد، الشىء الموجود فى بؤرة الانتباه.



الشكل ١٠ ـ ٢ الانتباه على مستوى الخلية العصبية: يُحل التنافس بين خلايا اللحاء، الذى يظهر حين يوضع أكثر من شيء فى مجالات استقبالها، لصالح العنصر الذى يُنتبَه إليه. هنا تستجيب خلية افتراضية فى المنطقة البصرية الرابعة بأفضل شكل لقضيب رأسى وحيد من الضوء وبشكل سيئ لقضيب أفقى فى مجال استقبالها (مخطط هنا بمستطيل). حين ينصرف الانتباه عن الاثنين، يكون مقدار الاستجابة لظهورهما المشترك وسطا بين الاستجابتين لكل قضيب على حدة. إذا ركز القرد على القضيب الرأسى، تتصرف الخلية وكأن القضيب الأفقى المشتت استبعد. إذا تحول الانتباه إلى القضيب الأفقى، تتأجج الخلية العصبية بشكل ضعيف، وكأن خاصية إطلاقها، القضيب الرأسى، تم تنقيتها. معدل عن Reynolds and Desimone, 1999.

لنناقش مثالا أبسط لمشهد لا يضم إلا خطًا رأسيا وخطًا أفقيا (الشكل ١٠ـ٢). ينشط هذا المُدْخَلُ عشراتِ الألوف (إن لم يكن أكثر بكثير) من الخلايا فى أرجاء اللحاء البصرى. ما تأثير هذه المحفِّزات المزدوجة فى خلية عصبية فردية تستجيب بشكل مفضل لقضيب رأسى واحد، وتستجيب بالكاد لقضيب أفقى، فى حد ذاته؟

ما دام كان انتباه القرد فى موضع آخر، كانت استجابة الخلية العصبية لمظهرهما المشترك أقل من الاستجابة للقضيب الرأسى وحده. يمتلئ هذا التقلص فى التأجج نتيجة لعبة شد الحبل، وله نتائج عميقة عند النظر إلى الواقع، بأشياء متقاربة أو حتى متداخلة. دون انتباه، تستجيب خلايا اللحاء لكل هذه المجموعة، لكن دون استمتاع؛ ويصعب تأسيس أى ائتلاف. ونتيجة لذلك، لا يسمع لحاء مقدم الفص الجبهى إلا تنافر أصوات خافتة.

يتغير الوضع إذا انتبه الحيوان للقضيب الرأسى. تستعاد الاستجابة الأصلية القوية للخلية. كأن كل الخلايا التى تفضل التوجه الرأسى تستقبل تعزيزًا، يمكن أن تصد التأثير المثبط للمحفز غير المفضل (الشكل ١٠ ـ ٢). ينطبق المنطق نفسه عند انتباه القرد للمحفز (الأفقى) الذى لا تفضله الخلية، لكن بطريقة مضادة. تتأجج الخلايا الانتقائية أفقيا فى عمود توجه قريب، معززة بتوجيه الانتباه، بقوة أكبر. ويمكن بالتالى أن تكبح، بفعالية أكبر، استجابة خلايا مجاورة تشفر توجهات أخرى، مثل الخلية الرأسية.(٤) النتيجة النهائية للانتباه إلى شىء فى وجود محفزات منافسة (أشياء قريبة) تشبه استجابة الخلية لشىء يظهر منعزلا. تتضاعف هذه التأثيرات، ممتدة عبر مستويات متعددة، بحيث يكون التمثيل العصبى للأشياء فى الكشاف أقوى من ذلك الذى لا يستفيد من الانتباه (إلا إذا كان، فى حد ذاته، بارزا بشدة).

يمكن فهم تجليات خلايا الانتباه باعتبارها تساعد ائتلافا ناشئًا لترسيخ السيادة على ائتلافات أخرى وليدة. أعلن هذا المبدأ عالم الكهروفسيولوجيا روبرت ديزيمون Desimone فى المعهد القومى للصحة الذهنية وعالم النفس جون دنكان Duncan فى وحدة المعرفة فى كمبريدج، إنجلترا.(٥) يفترض إطارهما للتنافس الموجه أن إشارات الانتباه ـ من أعلى إلى أسفل أو من أسفل إلى أعلى ـ تؤثر فى التنافس لصالح المحفز موضع الانتباه.(٦)

يعتمد عمل الانتباه على المسافة بين المحفزات ومستوى تمثيلها فى التدرج الهرمى. يتوقع حدوث تداخل ضئيل ما دامت الشبكات العصبية ذات الصلة لا تتداخل وبالتالى لا تتنافس مباشرة بعضها مع البعض. يشرح هذا المبدأ قدرًا كبيرًا من أداء المهمة المزدوجة (القسم ٩ ـ ٣).

يـوجه الانـتـبـاهُ من أسـفل إلى أعـلى، والمـدفـوع بـالـبـروز، والخـاضع للإرادة، التنـافسَ ولا تبـقـى إلا ائتلافات عنصـر أو بضـعة عنـاصـر فى الجـزء الأمامى من اللحـاء الصـدغى السـفلى.[٧] هذه العنـاصـر هـى ما يعـيه الـكائن. مجـمـوعة المناطق اللحائية التى يغذيها نتاج اللحاء الصدغى السفلى، أعنى أجهزة الذاكرة فى الفص الصدغى المتوسط وشبكات التخطيط وصناعة القرار فى منطقة مقدم الفص الجبهى، تهيمن عليها معلومات تتصل بالأشياء موضع الانتباه.

فيما يتعلق باستعارة الانتخاب، تناظر الانتباهَ الموضعى الأموالُ المستخدمة لإدارة حملة دعائية قوية. توجه التنافس لصالح المرشح الذى يتمتع بالثراء وقوة التنظيم.

١٠ ـ ٢ تحدث تأثيرات الانتباه فى كل أرجاء

التدرج الهرمى البصرى

كيف تتجلى تأثيرات الانتباه؟ توضح التجارب الكهروفسيولوجية فى القرود وتصوير الدماغ فى البشر أن الانتباه الموضعى يمكن أن يعدل الاستجابة فى أرجاء اللحاء ـ بما فى ذلك اللحاء البصرى الأولي، والمنطقتان البصريتان الثانية والرابعة، والمنطقة الصدغية الوسطى، والمناطق الجدارية والصدغية السفلى فى المسارين الظهرى والبطنى، والبنى قبل الحركية ومقدم الفص الجبهى ـ والمهاد. اعتمادا على السياق الدقيق، ربما يعمل الانتباه بالفعل فى كل المستويات فيما وراء الشبكية.

يمكن رؤية تأثيرات الانتباه مبكرا فى النواة الركبية الجانبية واللحاء البصرى الأولي،[٨] حيث تُحدَّد فضائيا وتعتمد على صعوبة المهمة.[٩] ميزت دراسات أخرى التوقيعات العصبية للانتباه المعتمد على الخاصية وعلى الشىء فى المناطق البدائية (اللحاء البصرى الأولي، المنطقة الصدغية الوسطى).[١٠]

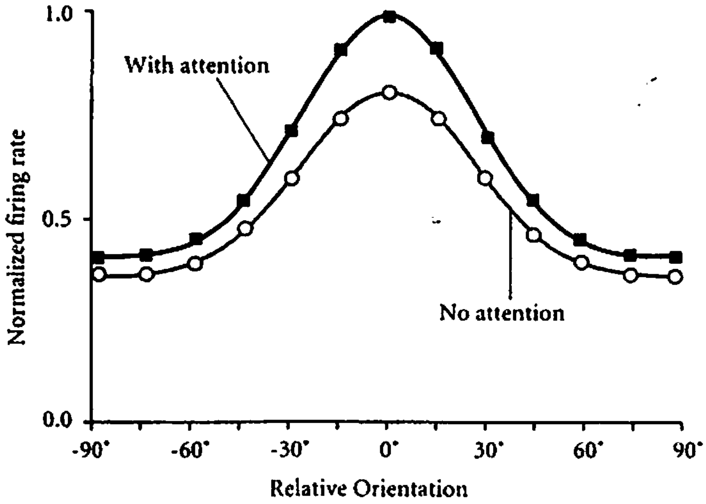
تجد الطرق المعتمدة على تسجيل جهود الفعل من خلايا عصبية فردية فى اللحاء البصرى الأولي أن الانتباه يزيد من نشاط التأجج بشكل معتدل. على

العكس، تلاحظ التقنيات التى تقيس إشارات تدفق الدم فى اللحاء البصرى الأولي تأثيرات أكبر وأقوى للانتباه. ربما يعكس هذا التباين التغذية الرجعية التى تولِّد النشاط المشبكى وتزيد الأيض الموضعى، الذى يلاحظ بالتصوير المغناطيسى، دون أن تعزز بالضرورة معدل تأجج خلايا اللحاء البصرى الأولي.

فى المناطق الأعلى، يسجل التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى فى البشر والخلية الواحدة فى القرود تعديلا أقوى للانتباه. حدد جون مونسل Maunsell فى كلية طب بالور Baylor فى هوستن Houston، تكساس، وتلميذه كارى ماك آدمز McAdams، مقدار تعزيز الانتباه باعتباره وظيفة لتوجه رقعة جبور Gabor - patch حاجز متموج ببروز فى اتجاه معين. بالتسجيل من مئات خلايا المنطقة البصرية الرابعة، وجدا أن الانتباه يزيد استجابات الخلايا، فى المتوسط، بالثلث تقريبًا (الشكل ١٠ ـ ٢). يرتفع مكسب الخلية ـ مثل صوت الراديو ـ دون تأثير على تناغمها. سُجِّلتْ نتائج مماثلة مع تغيير اتجاه حركة الشىء.[١١] يرى مونسل أن الانتباه يضخم جزءًا من استجابة الخلية يتجاوز النشاط التلقائى، شبيه بزيادة تضاد الشىء موضع الانتباه. فى هذه الحالة، تكون استعارة الكشاف مناسبة تمامًا؛ لأن كل ما يضيئه الانتباه يبرز.

عموما، كلما انخفض تضاد الهدف أو بروزه، زادت التأثيرات المفيدة للانتباه. مع المحفزات المتضادة بشدة لا يُرَى غالبًا إلا تأثير ضئيل. فى استعارة الانتخاب، نشر إعلانات أخرى فى التليفزيون أو الراديو لمرشحة متقدمة بدرجة كبيرة جدا لن يدفعها إلى التقدم أكثر بكثير.

لا يؤثر الانتباه فى معدل تأجج الخلايا فقط، لكنه يحول أيضًا التوقيت الدقيق للشوكات. وجد فريقان من علماء الكهروفسيولوجيا فى القرود أن الانتباه من أعلى إلى أسفل تزامن مع الشوكات بين الخلايا التى غطى كشافُ الانتباه مجالاتِ استقبالها. ومن المرجح أكثر أن تصدر شوكات من خليتين تستجيبان لشىء موضع انتباه فى الوقت ذاته أكثر مما لو لم يكن الشىء موضع انتباه. ويقوى هذا القوة بعد المشبكية مقارنة بالخلايا التى تتأجج عشوائيا. كما توقعت أنا وإرنست نيبور Niebur قبل عشر سنوات، ربما يُشفِّر تماسكُ الشوكات بروزَ المحفز مباشرة.[١٢]



الشكل ١٠-٢ يزيد الانتباه الانتقائى مكسب الخلايا العصبية: قاس ماك آدمز ومونسل كمية تجلى الخلايا لانتقاء الانتباه بقياس تناغم توجه خلايا المنطقة البصرية الرابعة مع الانتباه ودونه. توجيه الانتباه لمحفز داخل مجال الاستقبال زاد معدل تأجج الخلية العصبية بمقدار الثلث تقريبا. معدل عن McAdams and Maunsell, 1999.

تستغرق تأثيرات الانتباه ١٠٠ ملى ثانية أو أكثر لتظهر فى اللحاء البصرى الأولي، لكنها تحدث أسرع بكثير فى المناطق العليا. ربما يكون ذلك نتيجة طوبوجرافيا امتداد التغذية الرجعية من الفص الجبهى. تصل بقوة وسرعة إلى المناطق البصرية العليا وبضعف وبطء إلى المناطق البدائية. (١٣)

أين تنشأ إشارات الانتباه التى توجه التنافس؟ ينبغى البحث عن مصدر الانتباه الإرادى، من أعلى إلى أسفل، فى بنى مقدم الفص الجبهى. كما أناقش فى الفصل الحادى عشر، هنا تحتفظ الخلايا العصبية بالمعلومات بزيادة معدل تأججها لعدة ثوانٍ. ربما تكون هذه الخلايا العصبية مسئولة أيضًا عن تشفير التعليمات المطلوب للقيام بمهام البحث البصرى بنجاح، وقد وصفناها فى الفصل السابق (على سبيل المثال، تذكَّرْ أنك تبحث عن قضيب عمودى أحمر).

مصادر الانتباه من أسفل إلى أعلى الذى يتوسط فيه البروز متعددة وتشمل النوى المسندية pulvinar فى المهاد،[١٤] ومناطق مثل المنطقة الجدارية الجانبية فى اللحاء الجدارى الخلفى،[١٥] والمجالات الجبهية للعينين. [١٦]

١٠ - ٣ الإهمال أو مرضى غير مكفوفين لا يرون

ليس من المدهش أن يؤدى تلف بعض هذه البنى إلى علل الانتباه. من هذه المآسى **إهمال نصف المجال أو الإهمال** ببساطة، والأكثر شيوعا أن يأتى نتيجة جلطة تشمل الفص الجدارى السفلى الأيمن. [١٧]

يفشل مريض إهمال الفضاء فى ملاحظة الأشياء على يساره أو فى استكشاف الجانب الأيسر من الفضاء.[١٨] وهكذا، يصطدم بالمَدْخَل على يساره، أو لا يأكل الطعام فى الجانب الأيسر من طبقه، أو لا يلاحظ إذا اقترب أحد من اليسار، أو يدخل غرفة السيدات لأنه لا يرى آخر حرفين من "سيدات".[١٩] ولا يكون هناك عادة عيب فى عينيه، أو اللحاء البصرى الأولي أو الجهاز الحركى. إذا شد انتباه المريض صراحة إلى المعلومات المهملة، ربما يلاحظها، عادة بالنظر إليها مباشرة.

الانطفاء extinction نوع من هذه المتلازمة، أو ربما يكون شكلا أخف. يرى المريض محفزا واحدا معزولا فى المجال الأيسر. فى وجود محفز ثانٍ فى المجال الأيمن يشد انتباهه ويختفى ما على اليسار على مستوى الإدراك، يصبح غير مرئى. يطفئ المحفزُ الأيمن المحفزَ الأيسر.[٢٠]

لا يقتصر الإهمال على البصر، فقد يحدث فى المجال السمعى أو الحسى الجسدى، وقد يمتد أيضًا إلى جسد المريض نفسه. فى هذه الحالة، يصر المريض على أن ذراعه اليسرى ذراع شخص آخر. لحسن حظ المرضى، يختفى الإهمال الحقيقى خلال بضعة أسابيع من الرض. وقد يبقى الانطفاء، من ناحية أخرى، إلى أجل غير محدد.

بشكل ذاتى، لا يعى مريض الإهمال الأشياء باتجاه جانبه الأيسر. هذه المنطقة، بشكل يماثل الفضاء خلف الرأس، ليست رمادية أو مظلمة؛ ببساطة لا

تُمثَّل بوعى. فى هذا الصدد، يختلف الإهمال الفضائى اختلافا تاما عن العمى النصفى، العمى الكامل فى مجال واحد بعد فقدان اللحاء البصرى الأولي (القسم ٦-١). يدرك مريض العمى النصفى هذا الفقد ويتعلم التغلب عليه بتناغم عينيه ورأسه، بشكل يختلف تماما عن مريض الإهمال. بشكل متناقض، يحس مريض العمى النصفى بعيب أكبر، ويتصرف أفضل من مريض الإهمال. قد يستطيع هذا المريض استنتاج الفقد بشكل غير مباشر، لكن هذا الاستنتاج العقلى ليس له تأثير مستمر على سلوكه. يمكن لطبيب الأعصاب مساعدة المريض على اكتشاف أن اليد المعلقة فى كتفه يده حقا لا يد شخص آخر، لكن هذه البصيرة تضيع بسرعة وسط الاستحالة الغامرة للوصول إلى الدليل الحسى بأن "هذه اليد التى تتحرك حولى هى يدى حقا."

المنطقة المهمَلة فى الفضاء ليست مشفرة بمعنى شبكى خالص (على سبيل المثال، كل شىء إلى يسار مركز التحديق)، لكنها تعتمد على اتجاه الرأس والجسم أو على بؤرة الانتباه. وهكذا، قد يُسقِط مريض الإهمال، الذى ينسخ لوحة، الجانب الأيسر من كل ما فى الصورة. أوضح عالم الأعصاب الإيطالى إدوردو بيسياك Bisiach أن الإهمال يحدث فى المخيلة. طُلِب من مرضى من ميلانو تخيل الوقوف على سلم كاتدرائية، ومشاهدة ميدان دومو Piazza del Duomo. فى هذه الحالة، لم يشاهدوا الجانب الأيسر من سوق الميدان. وبالتالى، طلب منهم تخيل أنهم موجودون فى الطرف الآخر من الميدان، يتطلعون باتجاه الكاتدرائية. ظلوا يهملون الجانب الواقع على يسارهم فى الميدان، وفى هذه المرة كان يناظر منطقة شاهدوها جيدًا من نقطة متميزة.[٢١] أى إن توافر المعلومات يعتمد على منظور الشخص، سواء كان واقعيا أم متخيلا.

رغم غياب الوعى فى المجال المهمَل، يحتفظ المريض بقدرات المعالجة اللاشعورية المحدودة.[٢٢] افترض صورة لحيوان أو خضار تومض فى نصف المجال السليم وعلى المريض أن يقرر حقيقتها بسرعة. إذا سقطت صورة من الفئة نفسها (حيوان أو خضار) فى الوقت ذاته فى المجال المعتل للمشهد، تصبح استجابة المريض أسرع. وإذا كان المحفِّز فى الجزء المهمَل من الفضاء من فئة مختلفة، تكون الاستجابة أبطأ. هكذا يمكن أن يقوم نصف المجال المصاب

بتصنيفات بسيطة. تشير مقاييس ضمنية أخرى للسلوك إلى أن اللون أو الشكل أو الهوية يمكن استنباطها من أشياء تبقى غير مرئية للشخص.[٢٣]

كشفت دراسة بالتصوير الوظيفى أن نشاط تدفق الدم يسهل هذه المعالجة اللاشعورية. عُرِضت على رجل فى الثامنة والستين، مصاب بتلف فى الفص الجدارى السفلى الأيمن وانطفاء عميق للجانب الأيسر، صور لوجوه ومنازل وهو يستلقى فى جهاز الأشعة المغناطيسية.[٢٤] حين عرضت الصور مفردة سواء فى المجال الأيسر أم فى المجال الأيمن، تعرف عليها بشكل صحيح. عند عرض صورتين فى وقت واحد، واحدة إلى يسار العين وواحدة إلى اليمين لم ير الصورة اليسرى (الانطفاء). وسجل جهاز الرنين المغناطيسى نشاط الدماغ فى اللحاء البصرى الأولي لمجال يخلو من الإدراك. ولا يمكن تمييز هذا النشاط على مستوى الزمن أو السعة من النشاط استجابة لصورة، على جانب واحد، يستطيع رؤيتها. يمكن حتى لأطباء الأعصاب اكتشاف نشاط فى المنطقة المغزلية للوجه فى المسار البطنى. بجانب تعزيز استنتاجى السابق بأن نشاط اللحاء البصرى الأولي لا يناظر محتوى الوعى البصرى، تؤكد هذه البيانات أيضًا أن مجرد وجود إشارة دالة للتصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى لا يتضمن أن الوعى بالخصائص ممثل فى تلك المنطقة. ربما لا تنشط الخلايا اليمنى أو ربما لا تتأجج بقوة كافية.

إذا كانت المناطق الجدارية حاسمة للخبرات البصرية، فينبغى أن يؤدى فقدان الفصين الأيسر والأيمن إلى إهمال عميق فى المجال كله، فقدان كامل للرؤية. لكن الوضع ليس كذلك. المرضى بحالة نادرة تعرف باسم متلازمة بلينت Balint مصابون بتلف الفص الجدارى على الجانبين. السمة المميزة لهذه الحالة تثبيت النظر باستمرار على شىء واحد. ذلك كل ما يرونه؛ تُهمَل كل الأشياء الأخرى. يمكنهم تحديد ما يركزون عليه ووصفه، ولا يستطيعون تحديد أى شىء آخر أو وصفه. يضيع هؤلاء المرضى فى عالم يخلو من بنية فضائية قابلة للتمييز، فضاء لا يحتوى سوى ما يقع فى بؤرة الانتباه.[٢٥] بوضوح، تشفر الخلايا العصبية فى اللحاء الجدارى الخلفى على الجانبين العلاقات الفضائية بين الأشياء، فارضة نظاما على العالم المدرَك. لكنها ليست مطلوبة لتوليد مُدْرَك بصرى معين.

١٠ ـ ٤ الملخص

تناول الفصل السابق الانتباه الانتقائى ووظيفتيه المفترضتين ـ أى الربط الديناميكى لخصائص الأشياء غير المألوفة وتوجيه التنافس بين ائتلافات الخلايا العصبية لتعزيز تمثيل الشىء موضع الانتباه، وتُكبَح المحفزات التى ليست موضع انتباه. يركز هذا الفصل على الركيزة العصبية لهذه التأثيرات. لا شىء يُعرَف تقريبا عن الآليات المسئولة عن الارتباط. ومن ناحية أخرى، تراكمت أدلة فسيولوجية كثيرة لصالح الوظيفة الثانية. يحدث التضارب بين محفزين إذا تداخل تمثيلهما (إذا وقعا فى مجال الاستقبال نفسه). إذا لم يتنافسا، لا يكون الانتباه ضروريا لهما. هذا الإطار التنافسى الموجَّه عامّ بما يكفى للتوافق مع البيانات الكهروفسيولوجية وبيانات التصوير.

حين نصعد التدرج الهرمى اللحائى، يكبر مجال الاستقبال، مما يؤدى إلى تفاعلات أكثر تنافسًا (لأن من المرجح أكثر أن تثير المحفزاتُ الخليةَ العصبية نفسَها). بعد بضع مراحل من هذا الشكل المندفع من التنافس، لا يتبقى إلا بضعة تجمعات عصبية. تورط هذه التجمعات المتبقية المجموعات الأخرى من الخلايا فى مراكز التخطيط والذاكرة فى واجهة الدماغ. تعزز الخلايا العصبية بعضها البعض وتؤسس الارتباطات العصبية للوعى، ويعى الشخص محتواها التمثيلى. ينبثق عنق زجاجة الانتباه من معالجة هرمية فى معمار متوازٍ مع تمثيل متداخل.

يقوّى توجيه الانتباه نتاج الخلايا العصبية التى تتداخل مجالات استقبالها مع كشاف الانتباه أو التى تمثل صفة معينة، مثل الحركة إلى أسفل. لا تبدو تقريبا منطقة من المناطق اللحائية التى فُحِصتْ كثيرا منيعة لتعديل الانتباه. تعتمد قوة هذه التأثيرات وزمنها على دقة المهمة وطبيعة المحفزات. أصولها متنوعة. تقدم مناطق فى اللحاء الجدارى الخلفى والنوى المسندية إشارات من أسفل إلى أعلى مدفوعة بالبروز، ويقدم لحاء مقدم الفص الجبهى تعليمات من أعلى إلى أسفل.

يتحطم التنافس إذا حدث خلل فى بعض هذه المناطق، كما فى الإهمال أحادى الجانب أو الانطفاء. يفقد المرضى الوعى بالمحفزات فى المجال المصاب، رغم بقاء

بعض قدرات المعالجة اللاشعورية. لا يرى مرضى متلازمة بلينت، المرتبطة بتلف الفص الجدارى على الجانبين، إلا ما ينتبهون إليه. اللحاء الجدارى الخلفى على الجانبين مطلوب لتوليد إشارات الانتباه الضرورية لرؤية مشهد كامل وتمثيل العلاقات الفضائية بين الأشياء فى ذلك المشهد، لكنه ليس ضروريا بشكل قاطع لإدراك الشىء بوعى. وهكذا، على البحث عن الوعى أن يطارد موضعا آخر، أساسا بطول التيار البطنى وفى لحاء مقدم الفص الجبهى. (أقوم بذلك فى الفصل السادس عشر). فى الفصل التالى، أبقى مع مختلف أنواع أجهزة الذاكرة وعلاقتها بالوعى.

الهوامش:

(١) اقترح الفيلسوف أولاف ستبليدون Olaf Stapledon (١٨٨٦ ـ ١٩٥٠، فيلسوف بريطانى - المترجم) فى "صانع النجوم" Star Maker أن المجرات يمكن أن تطور شكلا من الوعى (الذاتى) (Stapledon, 1937). لكنه غير مرجح. حتى لو كانت المجرة تحتوى على نجوم أكثر فهناك خلايا عصبية فى دماغ الإنسان، وحتى لو كانت النجوم كيانات معقدة، فهؤلاء السكان من النجوم يقترنون بعضهم ببعض بقوى الجاذبية التى يتحلل تأثيرها بشكل متجانس فى الفضاء. لا توجد آلية فيزيائية فلكية فى هذه المقاييس الكونية الشاسعة تسمح بتفاعلات معينة قابلة للتكيف بين أزواج من النجوم بشكل مستقل نسبيا عن المسافة. وهذه التفاعلات، مع ذلك، أساس معالجة المعلومات وتخزينها واستعادتها.

(٢) هايزنبرج Heisenberg (١٩٠١ ـ ١٩٧٦): فيزيائى ألمانى، فاز بجائزة نوبل عام ١٩٣٢ (المترجم).

(٣) من رواد البحوث الكهروفسيولوجية عن الانتباه فى القرود النشطة بشكل مناسب روبرت ورتز Wurtz ومايكل جولدبرج Goldberg فى المعهد القومى للعيون خارج واشنطون، (Wurtz, Goldberg and Robinson. 1982) D.C.، وفرنون مونتكاسل Mountcastle فى جامعة جونز هوبكنز فى بلتيمور، ميريلاند. (Mountcastle, Andersen and Motter, 1981).

(٤) Rolls and Tovee, 1995. ؛Miller, Gochin and Gross, 1993 : Moran and Desimone, 1985 تناولت تجارب كثيرة ما تنتبه إليه القرود وهى تسجل نشاط خلايا فى المناطق V2، Luck et al., Treue and Maunsell, 1996 Chelazzi et al., 1993) IT. MST. MT. V4 Reynolds and Desimone, 1999 Reynolds, Chelazzi and Desimone, 1999. 1997 Rolls, Aggelopulos and Zheng.2003 لوحظ كبح التنافس فى اللحاء خارج المنطقة المخططة على أساس التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى (kastner et al., 1998)

(٥) Desimone and Duncan, 1995 - فى Crick and Koch, 1990b، افترضتُ أنا فرنسيس بشكل مماثل أن الانتباه الفضائى يشغّل، أو يقوّى إلى حد كبير، التنافس بين محفزين اثنين فى عمود لحائى. يفسر النموذج الحسابى لزيادة التنافس بين حافات مرشحات

متناغمة كثيرًا من العتبات الجسدية النفسية التى تقاس مع الانتباه الموضعى أو دونه (Lee et al., 1999).

(٦) يمكن أن يقلل توجيه الانتباه غالبا استجابة الخلية، كما فى المنحنى الثانى من أسفل فى الشكل ١٠ ـ ٢. لاحظ Reynolds and Desimone, 1999 أن بروز المحفز عدَّل التنافس بين محفزين اثنين فى مجال استقبال الخلية. افترض، على سبيل المثال، أن القضيب الأفقى فى الشكل ١٠-٢ كان متباينا بشكل منخفض. الزيادة فى تباينه والقرد ينتبه إلى هذا المحفز تقلل أكثر من نتاج الخلية، رغم الوجود المستمر للمحفز الذى تفضله الخلية. وهذا يقدم معنى كاملا فى إطار التنافس.

(٧) المنطقة البصرية الرابعة والجزء الخلفى من اللحاء الصدغى السفلى هما اللاعبان الأساسيان فى تعديل الانتباه فى مهام الإدراك. دون هاتين المنطقتين، تظل الحيوانات تميز هدفا معزولا، لكنها لا تميزه حين يطمر فى عرض بصرى كثيف. يحتاج الدماغ المنطقة البصرية الرابعة والجزء الخلفى من اللحاء الصدغى السفلى لفرز القمح من القش wheat from chaff (DeWeerd et al., 1999).

(٨) يصف Motter, 1993؛ Ito and Gilbert, 1999 تعديلات الانتباه فى خلايا اللحاء البصرى الأولي فى القرد. تسجل مجموعات كثيرة استجابات الدورة الدموية المعدلة بالانتباه فى النواة الركبية الجانبية واللحاء البصرى فى الإنسانWatanabe et al., 1998 Brefczynski and De Yoe, Gandhi, Heeger and Boynton, 1999 Somers et al., 1999 (O'Connor et al., 2002, Kastner and Ungerleider, 2000. 1999. وإذا تركنا حركات العين جانبا ـ وهى شكل من الانتباه ـ تبقى الشبكية وحدها محصنة ضد تعديلات الانتباه هذه لأنه لا توجد ألياف ـ أو ألياف ضئيلة جدا ـ تعـود إلى العينينand Weingarten (Spinelli, Pribram Brooke, Downes and Powell, 1965 ؛1965

(٩) فى عرض لعشر كرات تتحرك مستقلة، زاد حمل الانتباه كلما كان على الأشخاص متابعة كرتين أو ثلاث أو أربع أو حتى خمس تندفع عشوائيا. زادت قوة إشارات التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى بشكل يتناسب مع صعوبة المهمة فى مناطق جدارية منتقاة (Jovicich et al.. 2001 ؛Culham et al., 1998).

(١٠) فى إحدى التجارب كان على القرد التركيز على سحابة نقط تتحرك إلى أسفل فى نصف المجال البصرى. عزز ذلك تأجج خلايا اللحاء الصدغى المتوسط فى المجال المضاد للمشهد أيضًا، بشرط أن يكون اتجاهها المفضل إلى أسفل أيضًا (Treue and Martinez-Trujillo, 1999؛ انظر أيضًا McAdams and Maunsell, 2000) . دراسة التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى الأكثر قوة للانتباه المعتمد على الخاصية فى البشر هى دراسة Saenz, Buracas and Boynton, 2002 وفى مختبر آخر، دُرِّبت القرود على الانتباه إلى منحنى من منحنيين مستطيلين. حين التوى المحيط موضع الانتباه عبر

مجال استقبال خلايا فى اللحاء البصرى الأولي، عُزِّزت الاستجابة العصبية بمقدار الربع تقريبا مقارنة بالحالة التى لم ينتبه فيها الحيوان (Roelfsema, Lamme and Spekreijse, 1998).

(١١) لاحظ McAdams and Maunsell, 1999 ؛Treue and Martinz Trujillo, 1999 مجالا واسعا من الاستجابات العصبية، ربما ترتبط بأنواع محددة من الخلايا. أظهرت أقلية كبيرة من خلايا المنطقة البصرية الرابعة قدرا ضئيلا من تناغم الاتجاه يمكن تقديره دون الانتباه وأصبحت أكثر تمييزا مع الانتباه. ثمة خلايا أخرى لا تتأثر بالانتباه. يتنبأ توقيت هذه التأثيرات للانتباه بتوقيت الأحداث المرتبطة به سلوكيا (Ghose and Maunsell, 2002).

(١٢) كشفت تسجيلات متعددة الأقطاب الكهربية فى اللحاء البصرى (Fries et al., 2001b) والحسى الجسدى (Steinmetz et al., 2000) لقرود نشطة زيادة فى تزامن الشوكات بين الخلايا العصبية التى تمثل الخاصية موضع الانتباه. افترض هذا التأثير، ووضع نموذجا له، نيبور Neibur وكوتش Koch فى ١٩٩٤ (انظر أيضًا، Neibur, Koch and Rosin, 1993؛ Neibur, Hsiao and Johnson2002 لاحظ van Swinderen and Greenspan, 2003 شيئا مماثلا فى ذبابة الفاكهة. ويفتح اكتشافهما انتقاء الانتباه على أنواع من التدخل الجينى غير المستهدف عمليا فى الوقت الحالى فى الثدييات.

(١٣) Noesselt et al., 2002.

(١٤) تلعب المنطقة المتوسطة الظهرية من النوى المسندية دورا مهما فى الانتباه المدفوع بالبروز (Robinson and Petersen, 1992؛ Robinson and. Cowie, 1997). تحتوى المنطقة على خريطة لنصف المجال المضاد وترتبط بشكل تبادلى باللحاء الجدارى الخلفى. تستجيب خلايا المنطقة المتوسطة الظهرية والحيوان على وشك القيام بذبذبة فى العين فى مجال استقبالها أو حين ينتبه إلى محفز هناك (Desimone et al., 1990). يعانى المرضى المصابون بتلف شديد فى المهاد من صعوبات فى توجيه الانتباه فى المجال المضاد من المشهد (Rafal and Posner, 1987؛ LaBerge and Buchsbaum, 1990). مع موضوع واحد بارز لا يتأثر الأداء بانعدام النشاط مؤقتا فى النوى المسندية. وهذا لا يثير الدهشة حين ينظر إليه فى إطار "التنافس الموجه".

(١٥) يعدل الانتباه الفضائى التمثيل فى الفص الجدارى (القسم ٨ ـ ٤)، وخاصة البروز المدفوع بالمحفز

Gottlieb, Kusunoki and Golberg,1998; Colby and Goldberg 1999; and Bisley and Goldberg, 2003).

(١٦) تتورط المجالات الجبهية للعينين بكثافة فى ضبط ذبذبات العين وتحولات الانتباه (Huerta, Krubitzer and Kaas, 1986؛ Schall, 1997).

(١٧) Robertson and Marshall, (1993); Rafal, (1997a); Swick and Knight, (1998) ; Driver and Mattingley (1998) and Heilman, Watson and Valenstein, (2003);
يبقى سبب تمتع البشر بسيادة يمنى واضحة فى التعرف الفضائى مصدرا ثريا للتنظير (Husain and Rorden, 2003). قد يتمثل التعبير الصحيح فى الإشارة إلى تلف الجانب نفسه وتلف الجانب المقابل. وهو ما يجعل الكتابة مزعجة، وهكذا أفترضُ أن تلفًا فى النصف اللحائى الأيمن من الدماغ يسبب عيوبًا فى المجال الأيسر للمشهد. وهناك مناظرة حية بشأن المنطقة (أو المناطق) الدقيقة المصابة فى الإهمال. يشير Karnath, Ferber and Himmelbach, 2001 إلى اللحاء الصدغى العلوى، بدل الإشارة التقليدية إلى الفص الجدارى السفلى أو نقطة الالتقاء بين الفص الصدغى والفص الجدارى والفص القذالى، متهمًا أساسيا وحاسمًا فى إدراك المكان (Karnath, 2001).

(١٨) تذكرّ أن المجال الأيسر للمشهد مخطط فى الجانب الأيمن من الدماغ والعكس بالعكس.

(١٩) فى الأصل أول حرفين من "Women"، والمقصود أول حرفين من اليسار ومن ثم ترجمتها آخر حرفين من "سيدات" (المترجم).

(٢٠) للتمييز بين الإهمال والانطفاء، اجعل المريض يركز بشكل ثابت على أنفك، ثم اسأله إن كان يرى يدك تتحرك فى يساره، المجال البصرى المعاق. لا يستطيع مريض الإهمال، لكن مريض الانطفاء يرى. إذا لوحت فى الوقت ذاته باليد الأخرى على يمين المريض، نصفى المجال الطبيعى، تشتت انتباهه ويفشل فى رؤية يدك على يساره.

(٢١) Mattingley et al., Driver and Mattingley, 1998 ؛Bisiach and Luzzatti, 1978.1998

(٢٢) لا يدمر الإهمال بالضرورة التمثيل الفضائى المرتبط بنصف المجال التالف. تأمل حالة غريبة لمريض وصفه Vuilleumier et al., 1996. بعد الجلطة الأولى فى الفص الجدارى السفلى الأيمن، ظهر على المريض كل الأعراض الكلاسيكية للإهمال الفضائى الأيسر. فى العيادة يعانى من السكتة الدماغية الثانية حول مجالات عينه الجبهية اليسرى. تسبب هذا فى مشكلة مؤقتة فى الكلام، واختفت أعراض الإهمال، مما يجعلها حالة نادرة لجلطة مفيدة. ما يوحى به هذا الحدث اللافت- مدعما ببيانات من دراسة الحيوانات (Payne et al., 1996 ؛Schiller, True and Conway, 1979 ؛Spargue, 1966) - أن الإهمال يحدث بتنافس هائل، بكبح غير متوازن، لا بفقد كامل للمعلومات الفضائية.

(٢٣) Driver and Mattingley, 1998 ؛Berti and Rizzolatti, 1992.

(٢٤) Rees et al., 2000. انظر Vuilleumier et al., 2002 لتقرير عن حالة مرتبطة بهذه الحالة.

(٢٥) Rafal, 1997b ؛Robertson et al., 1997 ؛Robertson, 2003.

الفصل الحادى عشر

الذكريات والوعى

هل صدمك دائما يا "كونى"، أن الحياة كلها ذكرى، باستثناء اللحظة الحالية
التى تمر بك بسرعة بحيث تلحظ مرورها بالكاد؟ كلها ذكرى حقا
يا "كونى" باستثناء اللحظة العابرة.

تينسى وليمز من "قطار الحليب لم يعد يتوقف هنا" (١)

تعيش كل الكائنات، كبيرة وصغيرة، فى الحاضر. يمكن فقط إحياء نسخة للماضى موجزة ومحررة بكثافة. أستدعى حين تشاجرت فى الصف السابع بسبب سخرية عرقية أو، بعد ذلك بعقد من الزمان، حين سقطْتُ وأنا أتسلق صخرة شديدة الانحدار. قد تكون هذه الذكريات حية بدرجة تجعلها تبدو حقيقية، لكن ما أتذكره ليس إلا تقليدًا سيئًا وشاحبًا لخبرة أغنى مررْتُ بها حينها. تهب القدرةُ الإرادية على استدعاء أحداث معينة من الماضى الحياة بالإحساس بالذات والانتماء والهدف.

وفهم الذاكرة موضع بحث قديم قدم الحضارة ذاتها. حتى بدايات القرن التاسع عشر، اقتصر المجال على الفلاسفة تقريبا. لسوء الحظ، كان الاستبطان والبرهان المنطقى، الطريقتان الوحيدتان المتوافرتان قبل الاستكشاف العلمى المنظم للعقل، غير كافيتين لحل لغز جهاز بهذا التعقيد. كان على البصائر الحاسمة حقا أن تنتظر اقتران علم النفس والدراسات الإكلينيكية فى القرن

العشرين. قطعت علوم الدماغ، مدعومة بنماذج الحيوانات فيما يتعلق بالذاكرة والتصوير الوظيفى للدماغ فى البشر، خطوات واسعة فى كشف تنظيم الذاكرة.

تستخدم الرئيسات وحدات مميزة للاحتفاظ بالمعلومات. تختلف هذه الوحدات فيما تخزنه، وطريقة اكتساب المواد والمدة المتاحة خلالها، وموضع التعبير عنها، والطريقة الفيزيائية الحيوية لعملها.[٢] لكن لا شىء من هذا تقريبا مطلوب للإحساس بشىء ما. ويعرف قدر أقل عن الأشكال السريعة من الذاكرة الضرورية للوعى.

١١ ـ ١ تمييز أساسى

ما الذاكرة؟ بمعنى أكثر عمومية، أى تغير يتبع خبرةً. لكنه تعريف واسع جدا بدرجة لا تجعله مفيدا؛ لأنه يشمل الجرح والتعب والتغيرات التى تحدث فى مرحلة الطفولة. يقترح عالم بيولوجيا الأعصاب الإسرائيلى يادين دوبى Dubai تعريفا إجرائيا أكثر فائدة، وهو **الاحتفاظ بالتمثيل الداخلى المعتمد على الخبرة عبر الزمن.** [٣] على المستوى العصبى، توجد ثنائية أساسية بين **الذاكرة قصيرة المدى المعتمدة على النشاط، والذاكرة البنيوية طويلة المدى.**

تُشفَّر الذاكرة المعتمدة على النشاط بنشاط شوكى مستمر فى ائتلافات الخلايا العصبية. تستمر خلايا مقدم الفص الجبهى فى التأجج، وإن يكن بمعدل منخفض، إذا أزيلت خاصيتها المثيرة، ولتكن صورة دائرة حمراء، من المشهد، حين يكون على الشخص تذكر المحفِّز. وهى خلايا انتقائية؛ لأنها لا تتأجج لتذكر مثلث أخضر. معدل تأججها المرتفع أثرٌ عصبى لهذا الشكل المؤقت من الذاكرة.

تنبثق الذاكرة البنيوية من تعديلات مناسبة فى الأجهزة نفسها، بشكل خاص، فى تغيرات قوة المشابك بين الخلايا العصبية (المرونة المشبكية). تتورط المستقبلات العصبية من نوع نمدا NMDA (القسم ٥ ـ ٣) فى قرن آمون، بشكل خاص، فى تماسك الذكريات طويلة المدى.[٤] ربما ينتج التعليم والذاكرة من تغيرات بنيوية غير مشبكية، أيضًا، مثل التعديلات فى كثافة القنوات الأيونية التى تضبط العتبة ومكسب الاستجابة المتأججة للخلية أو فى شكل التفريعات

الشجرية. تتطلب الأشكال طويلة المدى من المرونة توليف synthesis البروتين وتعديل التعبير الجينى فى نواة الخلية. (٥)

عن طريق التماثل، تذكر أن ذاكرة الكمبيوتر تنقسم أيضًا إلى نوعين، أعنى ذاكرة الوصول العشوائى وذاكرة القراءة فقط. بينما لا يستمر محتوى ذاكرة الوصول العشوائى الديناميكى إلا والشريحة موصلة بالتيار، تحتفظ ذاكرة القراءة فقط بالمعلومات لسنوات، دون تيار كهربى. وبالمثل فى البشر. ضرب شخص ما بضربة فى رأسه، أو مخدر، يمحو ما كان فى ذهنه دون التداخل، عموما، مع الذكريات طويلة المدى.(٦)

التمييز بين الذاكرة المعتمدة على النشاط والذاكرة البنيوية مهم للوعى، لاعتماد الارتباطات العصبية للوعى على الأولى وليس على الأخيرة.

١١ - ٢ تقسيم الذاكرة طويلة المدى

تأتى أجهزة الذاكرة طويلة المدى التى تخزن المعلومات المناسبة لساعات أو أيام أو سنوات، بنكهات كثيرة. هذه القدرة على التخزين هائلة وبلا حدود تقريبًا.

الأشكال غير الترابطية من الذاكرة

الأبسط هى الأشكال غير الترابطية للتعليم، مثل التكيف adaptation والتعود habituation والحساسية sensitization. التأثيرات اللاحقة المعتمدة على التوجه، التى ناقشناها فى القسم ٦-٢، مثال للتكيف. يحدث التعود فى وجود ضجيج مستمر فى الخلفية. يمكن أن تلاحظ هذا الطنين مبكرا، لكن، إذا افترضنا ثباته، وعدم وجود تهديد، يشحب فى النهاية من إدراكك. وإذا أفرغ شخص بندقية فى هذه اللحظة، تدهش، ولبعض الوقت بعد ذلك تفزعك أى ضوضاء مفاجئة؛ لأنك أصبحت حساسا.

شرَّح إريك كانديل(٧) وزملاؤه، فى جامعة كولومبيا فى نيويورك، الأسس الجزيئية والخلوية لهذه الأشكال من التعليم بقدر كبير من التفصيل فى القوقعة البحرية أبلشيا Aplysia. (٨)

الارتباط الشرطى الترابطى

استكشف الارتباط الشرطى الكلاسيكى classical conditioning، كما هو معروف، إيفان بافلوف فى مدينة سان بطرسبرج. نتج هذا الخط فى البحث من ملاحظة أن لعاب الكلاب يسيل عند اقتراب الحارس الذى يقدم لها الطعام. تعلمت الحيوانات الربط بين رؤية الشخص والطعام، مثيرى الانعكاس الهضمى. يمكن للحيوانات البطيئة[٩] والذباب والطيور والفئران والقرود والبشر التصرف بالارتباط الشرطى. ولتحقيق ذلك، يتم الربط بين حدثين متباينين. **المحفز الشرطى**، وكان فى البداية بلا معنى للكائن، يجب أن يُتبَع بحدث معزز، **المحفز غير الشرطى**. يسمى غير شرطى لأنه، فى ذاته، يثير انعكاسًا متوقعا، مثل إسالة اللعاب أو استجابة فزع. [١٠]

فى **ارتباط الخوف شرطيا**، تتحد صدمة كهربية أو صخب هائل أو صورة مفزعة بنغمة. بعد هذا الاقتران مرة أو بضع مرات، تثير النغمة بشكل يعول عليه استجابة شرطية. فى البشر يمكن أن تكون تغيرا فى معدل ضربات القلب أو زيادة فى التوصيل الجلفانى للجلد. تقلق وتعرق حين تسمع النغمة (أساس اختبار اكتشاف الكذب). فى الفئران، يعتبر التجمد ، الذى تتوقف فيه كل حركات الجسم (باستثناء التنفس)، مقياسا للخوف عادة.

فى نوع يسمى **الارتباط الشرطى للخوف السياقى**، تتجنب الكائنات السياق ـ الموضع والروائح والرؤية والأصوات ـ الذى حدثت لهم فيه أشياء من قبل. على سبيل المثال، إذا أسقط فأر فى قفص تعرض فيه لصدمة من قبل، يتجمد عدة دقائق قبل أن يستكشف بحذر شديد محيطه الجديد.

تدور مناقشة مستمرة حول مسألة إن كان الارتباط الشرطى الناجح يتطلب وعيا بالمحفز الشرطى والمحفز غير الشرطى والعلاقة بينهما (على سبيل المثال، النغمة تتبعها صدمة عادة، بينما لا تتبع ضوضاء تشبه ssssh أبدًا). فى هذا السياق، اكتشف عالم الأعصاب لارى سكوير Squire، من رواد استكشاف ذاكرة الإنسان، وروبرت كلارك Clark، والاثنان من جامعة كاليفورنيا فى سان ديجو، اكتشافا حاسما أثناء دراسة نوعين من الارتباط الشرطى **لرَمْش العين**. نغمة تصاحبها نفخة هواء فى العين. بعد مائة مرة أو أكثر من هذا الاقتران، يرمش

الأشخاص عيونهم حين يسمعون النغمة، تتوقع أدمغتهم نفخة الهواء بعد النغمة فيتحركون بشكل انعكاسى لحماية عيونهم بالرمش.

كان مع كلارك وسكوير مجموعة متطوعين يَعْلمون هذا الارتباط حين تحدث النغمة وتهيُّج العين فى الوقت ذاته. لأسباب غامضة، يسمى **الارتباط الشرطى المتأخر** delay (مثل الموجود فى الشكل ١١ ـ ١). فى مجموعة ثانية، تُبعت النغمة، بعد نصف ثانية بنفخة الهواء. ويسمى **الارتباط الشرطى بالأثر** trace. فى كل الطرق الأخرى، يتماثل شكلا الارتباط الشرطى كلاهما. تعلم معظم الأشخاص أن صوتًا معينًا ينبئ بنفخة الهواء فترمش عيونهم.

بشكل لافت، هذا الاختلاف الضئيل ـ أن تتبع نفخة الهواء الصوت بدل أن تتداخل معه ـ يجعل الارتباط الشرطى أصعب بكثير. تصبح ضرورة انتباه الأشخاص للحدثين ملحَّة جدا ويتطلب الأمر الوعى بالعلاقة بينهما لحدوث الارتباط الشرطى. لتوضيح ذلك، شتت كلارك وسكوير انتباه الأشخاص أثناء عملية الارتباط الشرطى. بشكل مماثل لاختبارات انتباه الغاية المزدوجة فى القسم ٩ ـ ٢، كان عليهم اقتفاء ظهور الأرقام بسرعة، أو مشاهدة فيلم وهم يُمطَرون بالنغمات ونفخات الهواء. كان للتشتيت تأثير ضئيل على الارتباط الشرطى المتأخر؛ ويعرف الأشخاص الربط بين النغمة ونفخة الهواء، حتى إذا فشلوا باستمرار فى ملاحظة حدوث الصوت والهبات المزعجة من الهواء معًا. ولم يكن الحال كذلك فى الارتباط الشرطى بالأثر. إذا انهمك الأشخاص بشكل كاف بمهمة ثانية تتنافس على انتباههم، تمنع فترة الأثر الموجودة بين النغمة ونفخة الهواء الارتباط الشرطى.

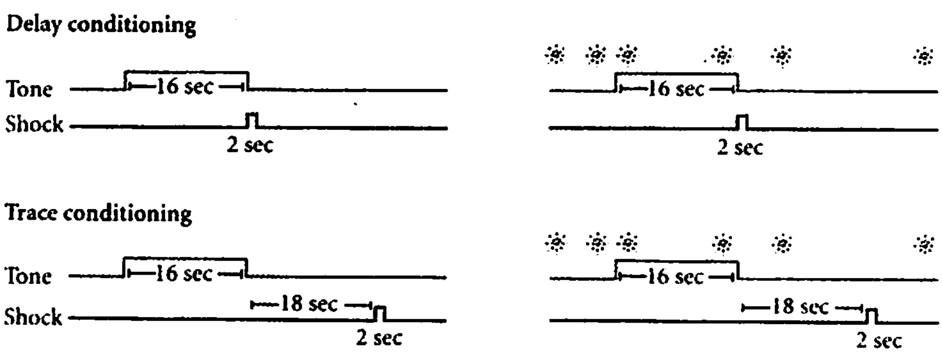
بمساعدة استبيان ما بعد التجربة، وجد كلارك وسكوير أن الذين ارتبطوا شرطيا فى ظل نموذج الأثر يستطيعون وحدهم وصف العلاقة بين الحدثين. وارتبك الذين لم يحدث لديهم الارتباط الشرطى بالمحفزات التى سبقت نفخة الهواء وتلك التى لم تسبقها. يبدو الأمر وكأن الانتباه والوعى فى حاجة إلى عبور الفجوة بين المحفزات غير الشرطية والمحفزات الشرطية. [١١]

اختبار للوعى فى الفئران

كانت هذه النتائج بمثابة بوق ينادينى. تصورْتُ أن هذا الإجراء، الذى يمكن

تطبيقه على الفئران، يمكن أن يكون واحدا من مجموعة اختبارات إجرائية لوجود الانتباه والوعى. تطوير نوع من اختبار تورنج[١٢] للوعى يمكن أن يكون مثيرا جدا. دعنى أخبرك بالسبب.

تشمل مجموعة الأبحاث المتنامية التى تبحث عن الارتباطات العصبية للوعى البشر والرئيسات الأخرى (على سبيل المثال، الفصل السادس عشر). لأسباب خلقية، أدمغة البشر، عموما، محرمة على الإجراءات القوية المنضبطة الضرورية لفك خيوط الدوائر المسئولة عن الارتباطات العصبية للوعى. باهتمام حقيقى وتعاطف، يمكن القيام بالتدخل الكهروفسيولوجى أو الدوائى فى الرئيسات من غير البشر، مثل القرود. لكن هناك مشاكل هائلة (فترة الحمل، الحجم، التكلفة) تحد بشدة من استخدامها على نطاق واسع.



الشكل ١١ ـ ١ تجربة للانتباه والوعى: تتعلم القرود ربط نغمة بصدمة كهربية مباشرة (الارتباط الشرطى المتأخر) أو معاق (الارتباط الشرطى بالأثر). حين تومض أضواء ساطعة بشكل عشوائى فى القفص المظلم فى مرحلة اقتران النغمة والصدمة، يكون الارتباط الشرطى بالأثر أضعف بكثير، وكأن الومضات تمنع الفئران من الانتباه للعلاقة بين النغمة والصدمة، والوعى بها. لا يؤثر التشتيت حين تتبع الصدمةُ النغمة مباشرة. معدل عن Han et al 2003 .

وتأتى البيولوجيا الجزيئية للإنقاذ بابتكار تقنيات للتعامل بتكلفة زهيدة وسرعة مع مجموعات عصبية محددة جينيا فى أنواع أخرى من الثدييات، الفئران. لم يثبت احتمال أن الفئران التى تخضع للتدريب بشكل روتينى يمكنها القيام بمهام التمييز البصرى أو الكشف، المهام الشائعة للبشر أو القرود. ومن هنا تأتى أهمية تطوير وسائل إجرائية بديلة لتقييم الوعى فى الفئران بشكل روتينى وسريع ومناسب.

خطا زميلان من الحاصلين على الدكتوراه، س. ج. هان J.C. Han وكولم أو توتيه O'Tuathaigh، يعملان فى مختبر ديفيد أندرسون ومختبرى فى كالتش Caltech، بالتعاون مع مايكل فانسلو Fanselow وجنيفر كوين Quinn فى جامعة كاليفورنيا فى لوس أنجلوس (UCLA) - خطوة كبيرة فى هذا الاتجاه. صمم هان فى البداية بروتوكولا للارتباط الشرطى بالأثر والمتأخر للخوف فى الفئران. ثبت أن ست مرات من اقتران نغمة صافرة بصدمة كهربية كافية لإحداث التجمد فى القوارض عند سماع النغمة (الشكل ١١ - ١). فى خطوة ثانية، أوضح أو توتيه أن مشتتا بصريا- أضواء وامضة فى قفص معتم إلا من هذه الأضواء- يتداخل بشكل انتقائى مع اكتساب الارتباط الشرطى بالأثر، وليس الارتباط الشرطى المتأخر. يبدو الأمر وكأن الأضواء الوامضة تشتت الحيوانات من الانتباه إلى العلاقة بين النغمات والصدمات، مؤدية إلى ارتباط شرطى بالأثر أكثر تواضعا بكثير دون التداخل مع التعلم فى السياق المتأخر.[١٣]

على أساس البيانات البشرية، أحد التفسيرات أن الأضواء الوامضة قلصت وعى الفئران بالعلاقة بين النغمة والصدمة حين لم يحدثا معًا - لا يتطلب الأمر وعيا أو يتطلب قدرا ضئيلا من الوعى. وهذا يفسر التداخل الانتقائى.

يقدم هذا البرتوكول وسيلة فعالة، بمساعدة المعالجات الدوائية أو الجينية، لاختبار مناطق وفئات معينة من الخلايا العصبية المسئولة عن مهمة تشتمل، فى البشر، على الوعى بالمحفزات الشرطية وغير الشرطية.[١٤] بوضع هذه البحث العملى فى مكانه، يصبح الفحص واسع المجال للتغيرات السلوكية محتملا. يحتمل تماما أن من آلاف السلالات الطبيعية لفئران المختبرات لا يستطيع بعضها عبور فترة الأثر؛ لأنها تفتقر لآليات انتقاء الانتباه أو إلى أوجه أخرى من

الارتباطات العصبية للوعى. هذه الفئران غير الواعية لا تبقى على قيد الحياة طويلا فى البرية، لكنها قد لا تظهر كثيرا من العيوب حين تُربَّى فى المختبرات. ومما يثير الشفقة أن نفتقدها لأننا نريدها. ربما تُطبَّق اختبارات وفحوص إجرائية مماثلة على أنواع أخرى، ومنها الحيوان الجينى النموذجى بامتياز، ذباب الفاكهة.(١٥) رغم الظنون القوية للبشر بشأن الخاصية الشبيهة بالآلة التلقائية، ربما تنطوى هذه الحشرة وحشرات أخرى على أحاسيس مبهمة، كوليا qualia للألم، أو الروائح، أو المتعة الجنسية. ما عدد الخلايا العصبية التى يتطلبها الأمر حقا ليعبر دماغ عن الوعى؟ ١٠٠٠٠ خلية عصبية، أم مليونا، أم بليونا؟ الآن، لا نعرف.

من الأشكال الأساسية الأخرى للتعليم الترابطى الارتباط الشرطى الإجرائى operant، الذى اشتهر بسكينر(١٦) وصندوق سكينر المسمى على اسمه لتدريب الحيوانات. هنا يتعلم الكائن تبعات أفعاله ليسعى للمكافأة أو تجنب العقاب. على سبيل المثال، يضغط الفأر على رافعة ليحصل على قطع الطعام. التعليم الإجرائى أساسى للسلوكيات الموجهة لهدف.

التعليم الإجرائى: المهارات والعادات

التعليم الإجرائى من أسس المهارات والعادات التى تملى أنماط حياتنا. يتطلب عقد ربطة عنق، قيادة سيارة، قيادة دراجة، الرقص، الكتابة، الكتابة على لوحة المفاتيح، إلخ، ممارسة ممتدة. بمجرد تعلم هذه الإجراءات الحركية الحسية تبقى طوال الحياة، وهى محصنة نسبيا ضد التخريب الذى يفرضه مرور الزمن على الذكريات الصريحة.

من الصعب، بشكل معروف، تعليم المهارات الحركية الحسية بشكل تجريدى- أى بالحديث عنها. لابد من ممارستها وتكرارها، مما يجعل بعض المدربين يتحدثون عن "ذاكرة العضلات" (تُخزَّن هذه المهارات، بالطبع، فى الدماغ). يلد التعليمُ الإجرائى عواملَ زومبية تعمل فى ظلمة ما تحت الذهنى submental، وهى المسئولة عن الكثير من السلوكيات اليومية. والعوامل الزومبية موضوع الفصلين الثانى عشر والثالث عشر.

عدم القدرة على استعادة المهارات بشكل مباشر وشعورى سبب الاعتقاد فى أن التعليم الإجرائى ذاكرة ضمنية أو غير معلنة. لكن يحتمل أن يكون الانتباه والوعى ضروريين لتعلم هذه المهارات.

تشمل البنى العصبية التى تكتسب هذه المهارات والعادات وتحتفظ بها اللحاء الحركى الحسى، والجسم المخطط وبنى العقد القاعدية المرتبطة به، والمخيخ.

الذكريات المعلنة: ركام يشيد الماضى

مع معظم الناس، الذاكرة بعث واع لحقائق أو أحداث من ماضيهم. هنا، يجب التمييز بين فئتين: الذاكرة العرضية episodic والذاكرة السيمنطيقية semantic.

تزودك الذاكرة العرضية، أو المرتبطة بالسيرة الذاتية، بمفهوم حقيقتك، من أين أتيتَ، خبرة فيلم الأسبوع الأخير، وما تناولته فى فطور هذا الصباح. تخزن الذاكرة السيمنطيقية، من ناحية أخرى، الحقائق المجردة، والعلاقات، ومعانى الكلمات، وكل الأشياء الأخرى التى تكوِّن النسيج الذى تُبنَى عليه الثقافة والقانون والعلوم والتكنولوجيا.

نوعا الذاكرة كلاهما تصريحان؛ لأن المعلومات تستدعى بوعى وتعرف أنك تتناول معلومات مخزونة. ونتيجة لذلك لا تخلطُ ذاكرة حدث بالحدث ذاته. لا تُخزَّن المعلومات بوعى. قبل أن تقرأ كلمتى "تمثال الحرية"، لم يكن فى دماغك ائتلاف خلايا عصبية نشطة تشفر صورة هذه السيدة الجميلة. يوجد فقط فى نمط مشبكى منتشر.

خُمِّن التمييز لفترة طويلة بين الذاكرة التصريحية والذاكرة الضمنية، لكنه ظل مثيرا للخلاف حتى لفت انتباه مجتمع علماء الأعصاب مريض تتردد قصته، M.H.. للتحكم فى نوبات صرعية شديدة، أزيلت قطع كبيرة من الفص الصدغى المتوسط على الجانبين.(١٧) لا يعانى M.H. من عيوب واضحة فى الإدراك، لكنه يعانى من فقدان شديد للذاكرة. فقد الذاكرة(١٨) بشدة لأحداث حدثت قبل عامين من إجراء العملية. ينسى الأحداث بمجرد ابتعادها عن نظره وعقله. يمكنه، بجهد، الاحتفاظ برقم من ثلاثة أرقام بالتكرار المستمر. وحين يُشتَّت

ينسى الرقم. حين يغادر شخص الغرفة ويعود بعد بضع دقائق، لا يتذكر M.H. أنه رآه من قبل. بعد تناول وجبة بساعة، يعجز عن تذكر ما تناوله أو حتى إن كان قد أكل.[١٩]

ومع ذلك لا يعانى M.H. من خسارة عقلية خاصة، ويتمتع بذاكرة فورية طبيعية، ويمكنه تعلم مهارات جديدة والاحتفاظ بها، مثل الرسم الانعكاسى mirror-drawing، رغم عجزه عن تذكر كيفية اكتساب هذه القدرات. ويعى بكل تأكيد. يمكنه وصف بيئته والإحساس بها، والرد بشكل صحيح على أسئلة تتعلق بالأحداث الفورية، إلخ.

يثبت نمط العيوب التى يعانى منها أن الذكريات التصريحية تُكتسَب وتُخزَّن فى مواضع متميزة عن الذكريات الإجرائية. بينما الجهاز الأول فى M.H. مختل، الجهاز الثانى ليس مختلا. أكدت الأبحاث التالية على الحيوانات الدور الحاسم لتكوين قرن آمون واللحاء داخل الشمى entorhinal وحول الشمى perirhinal فى الذاكرة التصريحية. يؤدى تلف الفص الصدغى المتوسط على الجانبين إلى فقدان عميق للذاكرة. لكن قرن آمون ليس موضع التخزين النهائى للذكريات الصريحة- المخزن النهائى هو اللحاء الجديد، وخاصة الفص الصدغى ومقدم الفص الجبهى. يوحد قرن آمون المعلومات التى تأتى من الأجهزة الحسية لتذكر حدث ويدمجها فى المناطق اللحائية المناسبة لعدة أسابيع.

يقدم كليف ويرنج Wearing المثال الأكثر درامية لاستمرار وجود الوعى فى وجه فقدان كامل تقريبا للذاكرة التصريحية. موسيقى موهوب وأكاديمى عانى من إصابة فيروسية فى الدماغ كادت تودى بحياته ودمرت أجزاء من الفصين الصدغيين. حالته شديدة جدا فى مدى فقدان مخزون الذاكرة- لديه فكرة مهزوزة جدا عن حقيقته- وعجزه عن تعلم شىء جديد. بقيت قدراته الموسيقية عموما، رغم ذلك.[٢٠] لا يعى كليف إلا الحاضر. ليست له طفولة، ليس له ماض. مثل ممثل فى تراجيديا يونانية، ينتقل خلال الحياة، لا يتأثر بالأحداث من حوله، محصن ضد مرور الزمن.[٢١]

كليف ويرنج، والمريض M.H.، وآخرون من المصابين بفقدان عميق للذاكرة برهان حى على أن تشكيل ذكريات تصريحية جديدة أو تذكر حياة المرء ليس

ضروريا للوعى. هذا الفقد يتركهم فى بؤس عميق، لكنهم واعون. إضافة إلى ذلك، حيث إن هؤلاء المرضى يرون ويسمعون ويحسون بشكل جيد، يتبع ذلك أن الجزء الأمامى من قرن آمون والأجزاء الأخرى من الفص الصدغى المتوسط ليست مطلوبة بشكل قاطع للوعى.[٢٢]

١١ ـ ٣ الذاكرة قصيرة المدى

الذاكرة قصيرة المدى أو الفورية مصطلح عام للتخزين المؤقت للمعلومات لعشرات الثوانى. النظر إلى رقم تليفون والاتصال به مستحيل دون حاجز مؤقت لتخزين الأرقام. الذاكرة الفورية، مقارنة بالذاكرة طويلة المدى، أكثر قابلية للتغير وقدرتها محدودة جدا.

لا يوجد فى الدماغ حاجز يشبه ذاكرة الوصول العشوائى من خلاله تتحرك كل المعلومات فى طريقها للنسيان أو لتخزين أكثر ديمومة. بدلا من ذلك، لمختلف الأجهزة الحسية قدرات لذاكرة مؤقتة تعمل بالتوازى.

وضع علماء النفس مفهوما ملتبسا نسبيا للذاكرة قصيرة المدى مع **الذاكرة العاملة** working، المكونة من مدير أساسى وعدة أجهزة تابعة، مثل الحاجز البصرى أو مفكرة[٢٣] للمعلومات البصرية والحلقة الصوتية للغة.[٢٤]

الذاكرة العاملة مطلوبة لحل المشاكل الفورية

حين تستمع لأشخاص يتكلمون، تُخزَّن أجزاء قصيرة مما قالوا فى الحلقة الصوتية، تمثل نسخة احتياطية للمعالجة غير المباشرة.[٢٥] إضافة أرقام، أو تتبع وصفة، أو التخطيط لقيادة سيارة إلى السينما، أو مقارنة لون قميصين، أو نسخ لوحة تخطيطية، أو ملء إقرارك الضريبى، كلها أنشطة تعتمد على الذاكرة العاملة. يرتبط ذكاء الإنسان، مقيسًا باختبارات الذكاء، بشدة بأداء الذاكرة العاملة. تتميز الذاكرة العاملة بقدرة ضعيفة على التخزين، والتمثيل السيمنطيقى، والفترة القصيرة. دون تكرار نشط، يشحب محتواها فى دقائق.

المدير الأساسى هو الوكيل الذى يضبط الوصول للحلقة الصوتية، والحاجز البصرى، والتخزين المؤقت للأجهزة الأخرى، عن طريق نوع من المعالجة الانتقائية للانتباه. يتضافر الانتباه والذاكرة العاملة، مما يجعل الفصل التام بينهما صعبا. تكون ضريبة الذاكرة العاملة أكبر، كلما قل الانتباه الفعال فى تجاهل المشتتات. أى شخص شارك فى اختبار سيكولوجى ملح (كما فى الشكل ٩ ـ ٣) أو جموع البشر الذين يتحدثون عن بعد باستفاضة فى التليفونات المحمولة وهم يقودون سياراتهم، يعرفون ذلك جيدا. [٢٦]

من طرق تقدير كمية المواد التى يمكن تخزينها فى الذاكرة العاملة تقديم عدد عشوائى من الأرقام أو الحروف بسرعة منتظمة (ليكن عشرة أرقام على مدى عشرين ثانية) ويطلب من الشخص تكرارها بالترتيب. عدد البنود التى يمكن استعادتها هى مدى ذاكرة الشخص. مدى الأرقام المنطوقة بين طلبة الجامعات بين ثمانية وعشرة.[٢٧]

ما عدد الأشياء التى يمكن أن تراها فى لمحة؟

تُجس قوة تخزين الحاجز البصرى بتقديم مشهد لوقت وجيز. ما عدد التفاصيل التى يمكن أن تراها؟ ما عدد ما تستطيع استعادته إذا شُجِّعْتَ بعد ذلك.

أومض روفين فان رولين VanRullen فى مختبرى فى كالتش صورًا، تحتوى كل منها على أشياء متميزة ـ سيارة، دراجة، كلب ـ فى موضعها الطبيعى، لربع ثانية على شاشة. لمحو بقاء صورة لاحقة، تلت كلَّ صورة صورةٌ سريعة، بحيث تكتب فوق النشاط العصبى المرتبط بالمعلومات الواردة، أو تُقنِّعه (القسم ١٥ ـ ٢). بعد ذلك مباشرة، ظهرت قائمة من عشرين كلمة، عشر منها تصف الأشياء العشرة فى المشهد والعشر الأخرى تشير إلى أشياء ليست فى الصورة. اختار الأشخاص، فى المتوسط، شيئا صغيرا فوق الموضوعين. عرفوا أنه قد توجد أشياء أخرى، لكنهم لم يستطيعوا تحديدها.

وكان على الملاحظين اختيار أشياء إضافية من قائمة من ٢٠ بندًا حتى يتم اختيار ١٠ بنود. طُلِب منهم تخمين إذا كانوا يستطيعون القيام باستدعاء صريح

لأى شىء آخر. بتصحيح الضربات العابرة، حدد الأشخاص شيئين إضافيين بلا وعى. أى لا بد أن شيئا من هذه الأشياء ترك أثرًا فى الدماغ. يسمى علماء النفس هذه الظاهرة إعدادًا (وهو إعداد إيجابى فى هذه الحالة).[٢٨]

عموما، استنتج "فان رولن" أن أشخاصه سجلوا أقل بقليل من نصف الأشياء العشرة فى شكل ما. شوهد أكثر من بند - بند اعتمد على بروزه وألفته وعوامل أخرى - لكن أقل بكثير من كل منها.[٢٩] سجل الدماغ من خمسة أشياء إلى سبعة تقريبا، وهو ما يتوافق مع التقدير السابق لقدرة الذاكرة العاملة اللفظية.

عيوب فى الذاكرة العاملة

تأمل مرضى بتلف فى الذاكرة العاملة. لا يستطيع البعض حتى الاحتفاظ برقمين فى عقولهم، رغم تمتعهم بذاكرة طويلة المدى بشكل طبيعى.[٣٠] يتكلم الكثير منهم بتلعثم، أو تردد، أو بشكل يفتقر إلى قواعد اللغة، ويعانون من صعوبة فى العثور على الكلمات المناسبة؛ ويتمتعون بوعى كامل.

اختبر جين ريدوش Riddoch وجلن همفرى Humphreys، المتخصصان البريطانيان فى علم نفس الأعصاب، ثلاثة من هؤلاء المرضى.[٣١] أظهروا جميعا نقصا دالا فى مدى ذاكرة الحروف والكلمات المنطوقة، وقوائم الكلمات المقدمة بصريا، والمواد البصرية غير اللغوية. وعانوا من مشكلة فى نقل لوحات خطية بشكل صحيح وفى القيام بحسابات بسيطة تتطلب عمليتين ذهنيتين أو أكثر (مثل ١٣٢ - ٤٧ أو ١٣ - ٩). اقترفوا الكثير من الأخطاء عند الحكم على اشتراك خطين فى نفس الاتجاه أو الطول، أو تساوى دائرتين. واستطاع الثلاثة جميعا أن يروا بوضوح أسماء الأشياء، وكانوا يتمتعون بحواس بصرية طبيعية.

ويوحى هذا بأن الذاكرة العاملة ليست شرطًا أساسيًا للوعى. لا أعتقدُ أنك تحتاج إلى الحلقة الصوتية لإدراك أن السماء الزرقاء بعمق تمتد فوقك، لكنك تحتاج إليها فقط للحديث عنها بعد ذلك. ومع ذلك يكون اختبار هذه الفرضية فرضيا، كيف تخبر حقا شخصا ما بخبراتك إذا كانت ذاكرتك العاملة مدمرة بالكامل؟ ربما يجب وضع البدائل لعجزك حتى عن تخزين بيانات لوقت قصير.

إضافة إلى ذلك، أتساءلُ إن كان كل بند فى الذاكرة العاملة يُحس بوعى وفى الوقت ذاته. حين تحتفظ بنشاط بسبعة أرقام إلى عشرة أرقام ـ مثل الكثير من الطلاب فى فصلى ـ فى الذاكرة العاملة، هل تعيها كلها حقا؟ ألا يبدو من المعقول أنك تعى فقط رقما أو اثنين بينما تحلق الأرقام الأخرى فى الخلفية، من السهل الوصول إليها، لكنها خارج حدود التصور؟ [٣٢]

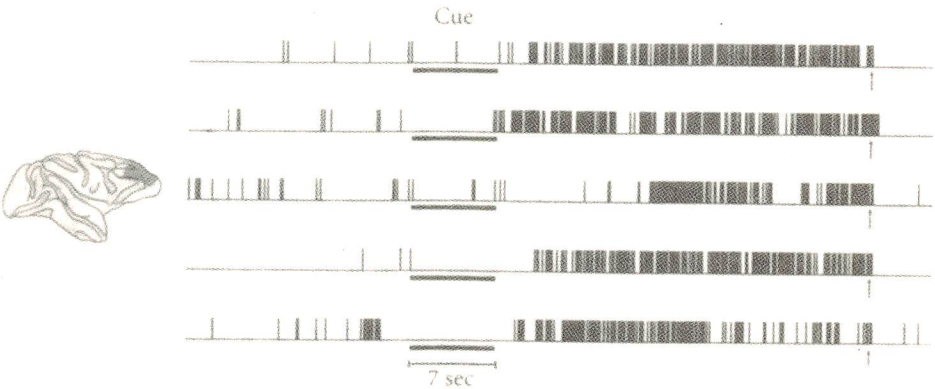
بينما تمثل بوعى مجموعة فرعية من محتوى الذاكرة العاملة فقط فى نقطة معينة من الزمن، يبدو أن وجود الذاكرة العاملة فى دماغ طبيعى سليم يسير يدا بيد مع الوعى. وربما يعتبر المرء وجود قدرات الذاكرة العاملة فيمن لا يتكلمون، مثل الأطفال حديثى الولادة أو الحيوانات، مؤشرا على وجود نوع من الوعى فى هذه الكائنات.

لحاء مقدم الفص الجبهى والذاكرة العاملة

أين توجد الذاكرة العاملة فى الدماغ؟ فى المناطق البصرية البدائية تخمد الاستجابة العصبية بسرعة إذا أزيلت الصورة من المشهد. ولا يحدث ذلك فى لحاء مقدم الفص الجبهى فى القرد الآسيوى. هنا اكتشف عالم فسيولوجيا الأعصاب جوكين فوستر[٣٣] فى جامعة كاليفورنيا، لوس أنجلوس أن الخلايا العصبية تشفر ذاكرة تعتمد على النشاط. وصف فوستر هذه الخلايا بنموذجين مترابطين شائعين إلى اليوم. فى محاولة **الاستجابة المتأخرة**، وُضِعتْ إشارة للحيوان فى موضع من اثنين. اختفت الإشارة وكان على القرد تذكر هذا الموضع حين سُمِح له بالإشارة إليه (الشكل ١١-٢). فى إجراء **المقارنة المتأخرة للاختيار**، رأى القرد لوقت قصير صورة هدف. بعد التحديق فى شاشة خالية لبعض الوقت، ظهر الهدف ورقاقة وكان عليه تثبيت عينيه بسرعة على صورة الهدف (لا صورة المشتت)، بصرف النظر عن مكان ظهورها على الشاشة. وإذا فعل ذلك، يكافئ بنقطة من عصير طيب المذاق.

حددت تجارب فوستر، وأيضا التجارب الأحدث التى أجرتها باترشيا جولدمان ريش[٣٤] وزملاؤها فى جامعة ييل Yale، خلايا عصبية تأججت فى فترة التأخير فى اللحاء الظهرى لمقدم الفص الجبهى، وخاصة فى المنطقة ٤٨

(اللوحة العليا فى الشكل ٧ ـ ١).[٣٥] إضافة إلى ذلك، حين ارتكب الحيوان خطأ، تداعى النشاط المتأخر. فى المحاولات الزائفة أو حين تكون الإشارات ناقصة، تختفى الاستجابة غالبا. من المعقول، إذن، أن نرى أن هذه الخلايا جزء من البنية الأساسية للذاكرة العاملة (مع أن التغيرات قصيرة المدى فى قوة المشابك ربما لعبت دورا أيضًا). تتسق التسجيلات الكهربية من موضع تخزين عصبى مختلف ونماذج الكمبيوتر مع مفهوم أن مثل هذا التخزين المؤقت للمعلومات يمكن أن يحدث من تفاعلات انعكاسية بين مجموعات صغيرة من خلايا عصبية مقترنة بشدة.[٣٦]



الشكل ١١ ـ ٢ **الذاكرة العاملة فى لحاء مقدم الفص الجبهى**: يقيِّم نموذج الاستجابة المتأخرة قدرة القرد على الاحتفاظ بموضع من اثنين فى ذهنه. تفريغ فئة من الخلايا المستجيبة فى لحاء مقدم الفص الجبهى (من المنطقة المشار إليها بالرمادى فى الصورة المدرَّجة) صامت من مستوياته الأصلية المنخفضة بالفعل أثناء تقديم الإشارة، ويزيد فى فترة الاحتفاظ التى تستمر ٣٢ ثانية، حين لا يكون هناك محفِّز. تتوقف الخلايا عن الاستجابة حين يبدأ القرد مد أطرافه إلى الهدف (المشار إليها بسهم)، حين لا تكون هناك حاجة للاحتفاظ بالموضع فى الذهن. معدل عن .Fuster, 1973

اختبرت التجارب التالية مدى تخزين الخلايا العصبية لهوية الشىء المتذكَّر، أو موضعه، أو الاثنين. حدد إيرل ميلر Miller وزملاؤه فى معهد ماساشوسيت للتكنولوجيا[٣٧] ثلاث فئات من الخلايا العصبية فى لحاء مقدم الفص الجبهى، وبالتحديد تلك التى تهتم بهوية المفكرة، والتى تشفر موضعها، والتى تشفر خصائص الشىء المطلوب تذكره. يلتقى مسار الرؤية للإدراك ومسار الرؤية للفعل فى الجزء الجانبى من لحاء مقدم الفص الجبهى، ويمثلان الأشياء المرئية والمتذكَّرة (الشكل ٧-٣).

لا يعمل لحاء مقدم الفص الجبهى منعزلا. تتأجج الخلايا الجدارية الخلفية لموضع الأشياء وتستجيب الخلايا الصدغية السفلى لهوية الأشياء التى اختفت عن النظر. مع ذلك، تفشل الخلايا الصدغية السفلى فى الحفاظ على عينة منتقاة من المعلومات حين ينتبه الحيوان إلى محفزات أخرى. النشاط المتأخر للخلايا فى لحاء مقدم الفص الجبهى محصن ضد تدخل الصور غير المطابقة.[٣٨] أحد التفسيرات أن اللحاء الصدغى السفلى يحتفظ بأثر حسى موجز (لقطة) لآخر محفز تم الانتباه إليه - ويفترض أن يكون شعوريا. [٣٩]

١١ - ٤ الذاكرة سريعة الزوال أو الأيقونية

ثمة شكل من الذاكرة أكثر إيجازًا، قد يكون أساسيا للخبرة الشعورية. يمكن أن ترى الشكل البصرى فى الأثر المحمر الناتج عن سيجارة متوهجة فى الظلام. إذا كنت سريعا بما يكفى، يمكنك رسم دائرة كاملة فى الهواء قبل شحوب بداية المسار المنحنى. تستغرق هذه الملاحظات التى توحى بالتحلل كسرًا من الثانية.

أجرى عالم النفس جورج سبيرلنج Sperling تقييمًا كميا آخر فى ١٩٦٠. فى هذه التجارب الكلاسيكية، أومض ستة حروف ظاهرة بوضوح، وكان على الخاضعين للتقييم تحديد الموضع النسبى للحروف بقدر ما يستطيعون. فى المتوسط، استعادوا ٤,٣ حرفا. بإطالة زمن العرض إلى نصف ثانية لم يختلف الأمر: استمروا فى تسجيل أقل من خمسة حروف، رغم قدرتهم على "رؤية" حروف أكثر بكثير.

لفهم هذا التباين، تحوَّل سبيرلنج إلى عروض تتكون من ثلاثة صفوف من أربعة حروف (الشكل ١١ ـ ٢) ووحَّدها، ببراعة، بنغمة عالية أو متوسطة أو منخفضة بعد اختفاء الصورة. أشار الصوت إلى ضرورة قراءة السطر العلوى أو المتوسط أو السفلى. وصف الخاضعون للتجربة ثلاثة حروف من الأربعة فى الصف المشار إليه. لأنهم لا يستطيعون التكهن بالسطر الذى يفترض أن يصفوه، كان عليهم أن يخزنوا فى المتوسط ٣ ـ ٣ من الحروف بدلا من ٤.٣ من الحروف فى التصميم الأصلى. غيَّر سبيرلينج أيضًا الزمن بين الانتقال من العرض إلى الإشارة. إذا تأخرت النغمة ثانيةً، نزل الأداء إلى المستوى الذى لوحظ فى التصميم الخالى من الإشارة.

أوحت هذه التجربة بأن الحروف التى قرئت بقدرة عالية، تحلل بسرعة شكلا من التخزين يُدعَى الذاكرة الأيقونية. تتأسس بسرعة وتستمر على الأقل لبضع مئات من الملى ثانية. للذاكرة الأيقونية مكونات مختلفة يمكن دراستها منفصلة بمعالجة العرض. لا يمكن تصنيف بعض محتواها، كمية كبيرة من حساء النقط والظلال والحافات لكنها غير مهضومة. بعضها لا يمكن تصنيفه، يصنف باعتباره A أو صورة ألبرت آينشتاين.[٤٠]

P	T	F	K
S	X	W	Z
M	B	D	O

الشكل ١١ ـ ٢ اختبار لذاكرة الصورة السريعة: مجموعة حروف تومض لوقت قصير تبعها، بعد تأخير قصير، نغمة ذات تردد عال أو متوسط أو منخفض، فى إشارة إلى قراءة الصف العلوى أو المتوسط أو السفلى. إذا حدثت النغمة خلال بضع مئات من ملى ثانية بعد ظهور الصورة، تُتذكَّر معظم الحروف فى ذلك السطر بشكل صحيح. لا تستمر هذه الذاكرة الأيتونية أو سريعة الزوال أكثر من ثانية. أعتقدُ أنها حاسمة للخبرة البصرية. معدل عن Sperling, 1960.

لا تعتمد فترة الذاكرة الأيقونية كثيرا على زمن التغير الفجائى للصورة كما لا تعتمد على توقيت ظهورها. أى إن ما يهم ليس الوقت بعد توقف العرض، كما فى التحلل السلبى، لكن مدة وجود المحفز (استمراره الكامل). ويوحى هذا بأن من وظائفها تقديم وقت كاف يسمح للدماغ بمعالجة إشارات وجيزة. ونتيجة لذلك، لا تتداخل الإعاقات المؤقتة للتيار البصرى، كما يحدث عند رمش العين، مع المعالجة. إذا وضعنا فى الاعتبار ظنى بأن الذاكرة الأيقونية ضرورية للإدراك البصرى، يتضمن ذلك الحاجة إلى حد أدنى من زمن المعالجة للإدراك الشعورى (أحيل القارئ الذى نفد صبره إلى الفصل ١٥ للاطلاع على المزيد).

ربما تُمثِّل الذاكرة الأيقونية فى الدماغ البصرى، بداية من الشبكية، وتشمل مختلف مناطق اللحاء والنوى المهادية المرتبطة بها. حين تطلق الموجةَ الشبكية صورةٌ تتسابق صاعدة التدرج الهرمى، تُنشِّط، بدورها، العقدة الشبكية وخلايا الترحيل فى الركبية، وخلايا عصبية فى اللحاء البصرى الأولي، والمنطقة البصرية الثانية، واللحاء الصدغى السفلى، إلخ. اعتبِرْ فى الذاكرة الأيقونية **توهجا عصبيا لاحقا** متروكا فى إثرها، مطوَّلا ومضخَّمًا بالنشاطات الانعكاسية، فى بقع موضعية، وبحلقات بين اللحاء والنوى المسندية pulvinar المختلفة.(٤١) فى الشبكية، تستجيب خلايا لمدة ٦٠ ملى ثانية أخرى بعد إزالة المحفز، ويستمر التوهج اللاحق فى خلايا اللحاء الصدغى السفلى والمناطق المجاورة إلى ٣٠٠ ملى ثانية.(٤٢) هذا ما تحس أنه ذاكرة سريعة الزوال.

أعتقدُ أن الذاكرة الأيقونية أساسية للوعى البصرى. لا تصور كيف يمكن أن ترى شيئا دون أن يستمر النشاط العصبى حدًا أدنى من الزمن. وإذا وضعنا فى الاعتبار الطبيعة المنتشرة للأساس العصبى للذاكرة الأيقوينة، لن يكون من السهل اختبار هذا الادعاء.

تأملات تربط الذاكرة الأيقونية بالوعى البصرى

المعلومات فى التخزين الأيقونى متطايرة، تشحب سريعًا إذا لم تقوَّ. بعض محتواها فقط، مع جوهرها، شعورى. يعتمد ما تنقله البيانات إلى أضواء الوعى

على الاتجاهات التى يبذلها البروز من أسفل إلى أعلى والانتباه الموضعى من أعلى إلى أسفل (القسم ٩ ـ ٣). لأن بعض الحروف لافتة أكثر من غيرها، أو لأنه طُلِب إليك الانتباه لشىء معين، يعزز الانتباه الائتلافات العصبية المناسبة. بمد حجم هذه الائتلافات وعمرها فى المراحل العليا من التدرج الهرمى البصرى، تنشط الخلايا العصبية فى لحاء مقدم الفص الجبهى ومواضع أخرى، وتعود بالتغذية إلى مناطق بدائية، ويمكن أن تؤسس أنماط تأجج ثابت د شكل الارتباطات العصبية للوعى ويمكن تخزينها فى الذاكرة العاملة.

من المغرى أن نعرف المراحل التى لا تُصنَّف للذاكرة الأيقونية مع مناطق فى اللحاء الصدغى السفلى ولحاء مقدم الفص الجبهى وحولهما.[٤٣] تصبح هنا المعلومات الخاصة بهوية الشىء صريحة وتُحفَظ فى المعدل الشوكى المرتفع للخلايا العصبية، حتى لو اختفى المحفِّز. يمكن اعتبار النشاط فى هذه المناطق لقطة فى مشهد، مع حفنة أشياء محددة، وعلاقتها الفضائية مشفَّرة. كما ناقشنا فى الفصل السابق، يمنع التنافسُ بين الخلايا العصبية كل الأشياء إلا عددًا صغيرا منها من التمثيل بهذه الطريقة.

أرى فى القسم ١٥ ـ ٣ أن هذا النشاط يجب أن يستمر وقتًا كافيًا ليتجاوز عتبة معينة ليكفى للوعى بمُدْرَك. تشمل هذه العملية حلقات التغذية الرجعية المتبادلة بين اللحاء الصدغى السفلى ولحاء مقدم الفص الجبهى، والفصين الصدغيين المتوسطين، وأجزاء من المهاد. حين تصبح التجمعات العصبية الفائزة المشفِّرة لحفنة من الحروف فى العرض ثابتة، تصبح كافية لإحساس شعورى. ينظف نشاطها المتأجج القوى، وربما المتماسك، الطريق لهذه المعلومات للوصول إلى الذاكرة العاملة ومراكز التخطيط فى الدماغ.

١١ ـ ٥ الملخص

تتألف الذاكرة، التى تبدو متجانسة، من عدة عمليات.

فى الارتباط الشرطى، يربط الكائن حدثين متزامنين أو متزامنين تقريبا ببعضهما، بحيث يتنبأ أحدهما بالآخر. تتطلب بعض أشكال الارتباط الشرطى البافلوفى انتباهًا انتقائيا ووعيا بالعلاقة بين المحفزات الشرطية وغير الشرطية.

إذا وضعنا فى الاعتبار سهولة تعلم الفئران، يمكن أن تتطور هذه الأشكال الشرطية إلى اختبار إجرائى لوعى الفئران.

تحتوى الذاكرة الإجرائية تعليمات، مثل كيفية قيادة دراجة، أو ربط الحذاء، أو القيام بسلسلة من حركات التسلق. تشفر الذاكرة العرَضية الأحداث المتعلقة بالسيرة الذاتية، وتتعامل الذاكرة السيمنطيقية مع معرفة أكثر تجريدا. والاثنان شكلان من الذاكرة التصريحية. فى الحالات الشديدة من فقدان الذاكرة، يعجز الناس عن تكوين ذكريات تصريحية ويفقدون أيضًا الوصول إلى الذكريات التى سبق تخزينها. يعانى هؤلاء الأفراد سيئو الحظ من تلف قرن آمون على الجانبين وبنى الفص الصدغى المتوسط المرتبطة به، ويبقون بالتأكيد واعين. يوضحون بشكل قاطع أن الوعى لا يعتمد على الذكريات العرَضية طويلة المدى.

تعتمد الأشكال الأقصر من التخزين على دوائر عصبية نشطة. وأوضحها الذاكرة العاملة، المحدودة تمامًا فى قدرتها على التخزين. وتقوم بذلك بطريقة فئوية مجردة. إذا لم تكرر الذاكرة العاملة باستمرار تتحلل فى دقيقة. وهى حاسمة فى كل المهام اليومية التى تُحفَظ فيها البيانات وتُعالَج لوقت قصير.

فى دماغ يعمل جيدا، تمضى الذاكرة العاملة يدا بيد مع الوعى. أى كائن لديه قدرات الذاكرة العاملة يحتمل أن يكون واعيًا، مما يجعل وجود الذاكرة العاملة اختبارًا حاسما للوعى فى الحيوانات أو الرضع أو المرضى الذين لا يستطيعون الحديث عن خبراتهم. وربما لا يكون العكس صحيحًا. أظن أنه إذا جُرِّد إنسان من ذاكرته العاملة، فسيبقى واعيا. يمكن أن يظل يشعر بالعالم، حتى لو لم يستطع الحديث عنه بعد ذلك.

الذاكرة الأيقونية، على الجانب الآخر- شكل سريع الزوال من تخزين المعلومات البصرية يستمر أقل من ثانية- ربما يكون ضروريا للإدراك البصرى. ركيزتها العصبية التوهج اللاحق الذى تخلِّفه موجات الشوكات التى تزحف صاعدة التدرج الهرمى البصرى، وتضخِّم بحلقات التغذية الرجعية الموضعية والأكثر شمولا. ربما تكون وظيفة الذاكرة الأيقونية تأكيد أن الصورة الوجيزة تبقى كافية لإطلاق الارتباطات العصبية للوعى.

الاحتفاظ بالمعلومات لأكثر من بضع ثوانٍ، كما فى الارتباط الشرطى بالأثر أو الذاكرة العاملة، خاصية مشتركة لعمليات كثيرة ترتبط بشدة بالوعى. تتجلى هذه الفكرة فى اختبار عملى للوعى فى القسم ١٢ ـ ٦. وقبل أن أصل إلى ذلك دعنى أحدثك عن الزومبى من الداخل.

الهوامش:

(١) تينسى وليمز Williams (١٩١١ ـ ١٩٨٣): كاتب مسرحى أمريكى، كتب "قطار الحليب لم يعد يتوقف هنا The Milk Train Doesn't Stop Here Anymore " فى ١٩٦٣ (المترجم).

(٢) توجد نظائر لتعدد الأجهزة البيولوجية للذاكرة فى أجهزة الكمبيوتر. يوجد مخزون للمعلومات عالية القدرة، وبطيئة المدخل، وطويلة المدى على الأقراص الصلبة والشرائط، ودى فى دى DVDs، وذاكرة الوصول العشوائى أسرع لكن بقدرة أقل للذاكرة قصيرة المدى، وذاكرة التخزين المؤقت سريعة جدا لكنها محدودة جدا على وحدة التشغيل المركزى نفسها.

(٣) Squire and Kandel, 1999؛ Eichenbaum, 2002 كتابان تمهيديان رائعان عن الذاكرة وارتباطاتها الجزيئية والعصبية. للاطلاع على بصيرة إضافية، انظر Dubai, 1989؛ Baddeley, 1990؛ LeDoux, 1996؛ Martinez and Kesner, 1998.

(٤) فى تجربة مذهلة، خلَّق جوى تسين Tsien فى جامعة برنستون Princeton وزملاؤه بالهندسة الوراثية فأرا للتعبير عن الشكل اليافع من مستقبلات نمدا NMDA فى البالغين فى قرن آمون (Tang et al., 1999). بمجموعة اختبارات، وضحوا أن الحيوانات المعدلة وراثيا عززت قدرات التعلم والذاكرة. يكمن الاختلاف الحاسم بين الشكل البالغ والشكل اليافع من مستقبل نمدا فى زمن تحلل التدفق الحالى خلال المستقبل. يكون أطول بكثير فى الحيوانات الصغيرة، مما قد يفسر تعلم الأطفال بشكل أسهل بكثير من البالغين. يناقش Wittenberg and Tsien, 2002 نتائج أكثر حداثة فى هذا المجال المتحرك بسرعة.

(٥) ثنائية الذاكرة المعتمدة على النشاط والذاكرة البنيوية ليست مطلقة كما وضحت هنا. كيف يمكن النظر، على سبيل المثال، إلى ضرورة رفع تركيز أيونات الكالسيوم فى الخلية فى الجسم، مما يسبب انخفاض معدل التأجج؟

(٦) فى توقيف الدورة الدموية بالتبريد أثناء جراحة الجهاز الدورى، تتوقف ضربات قلب المريض ببطء. لتقليل تلف الجهاز العصبى إلى أقصى حد، يبرد الدم إلى ١٠ درجات مئوية،

مما يقلل أيض الدماغ إلى عشر قيمته الأصلية تقريبا ويكبح كل نشاط رسم المخ الكهربى تقريبا. ومع ذلك يحتفظ المرضى بذاكرتهم طويلة المدى (McCullough et al., 1999). قام فرنسيس كريك بهذا الإجراء قبل بضع سنوات، حيث بقى رسم المخ الكهربى مسطحا لنصف ساعة تقريبا دون تأثير ضار.

(٧) إريك كانديل -1929) Kandel): عالم أمريكى من أصل نمساوى (المترجم).

(٨) توج هذا العمل بحصول كانديل على نوبل مشاركة فى الفسيولوجى أو الطب (عام ٢٠٠٠) (Kandel, 2001).

(٩) الحيوانات البطيئة slugs: نوع من الرخويات بطنية الأقدام (المترجم).

(١٠) أدبيات الارتباط الشرطى هائلة. للاطلاع على مراجعات، انظر Mackintosh, 1983 ؛Gallistel, 1990 ؛Tully, 1998 ؛Squire and Kandel, 1999 ؛Frendt and Fanselow, 1999 ؛Eichenbaum, 2002 ؛Medina et al., 2002.

(١١) طبق كلارك وسكوير نسخة ارتباط أكثر تعقيدا من النسخة الموصوفة هنا. فى تجاربهما، يتنبأ صوت، ليكن نغمة نقية ٢ كيلو هرتز، بنفخة الهواء، ولم يتبع صوت ثانٍ، وليكن صخب هسهسة، بمحفز غير شرطى. استطاع من استمروا تحت نموذج الأثر وصف العلاقة بين نوعى الأصوات وتعزيز نفخة الهواء (على سبيل المثال، "تُبِعت النغمة بنفخة من الهواء بعد وقت قصير ولم يُتبع الصخب"). لم يستطع من لم يحدث لديهم ارتباط شرطى وصف العلاقة بين الأحداث الثلاثة. لم تسبب هذه المعرفة الصريحة اختلافًا فى الارتباط الشرطى المتأخر (انظر أيضا Clark and Squire, 1999). لفترة طويلة ساد الظن بأن الكثير من أشكال الارتباط الشرطى تتطلب وعيا (Baer and Dawson and Furedy, 1976 Fuhrer,1970) فى التجارب المرتبطة بالموضوع، انظر

Öhman and Soares, (1998), Garrillo Gabrieli, and Disterhoft, (2000); Knuttinen et al.Carter et la., (2001); and Lovibond and Shanks, (2002).

فى ضوء العلاقة الوطيدة بين الانتباه والوعى (القسم ٩-٣)، على الأعمال المستقبلية توضيح الدور الدقيق الذى يلعبه الاثنان فى الارتباط الشرطى.

(١٢) اختبار تورنج Turing: سلسلة أسئلة تستخدم اختبارا للذكاء فى الكمبيوتر (المترجم).

(١٣) لا يقل الارتباط الشرطى للخوف السياقى أثناء الإجراء المشتِّت أيضًا. توصف هذه التجارب فى Han et al., 2003.

(١٤) أوضحنا، بحقن عقاقير تدمر لحاء المطوقة الأمامية فى الفئران، أن هذا الجزء من الفص الجبهى ضرورى لاكتساب الارتباط الشرطى بالأثر وليس لا اكتساب الارتباط الشرطى للخوف المتأخر أو السياقى (Han et al., 2003). فى جهد موازٍ، أوضحنا أن

الارتباط الشرطى بأثر الخوف فى البشر عرضة للاضطراب بالذاكرة العاملة المتزامنة معه أو المهام التى تتطلب انتباها (Carter et al., 2003).

(١٥) هذا ليس غريبا بقدر ما يبدو. ذباب الفاكهة قادر على القيام بسلوكيات معقدة، ومنها الاختيار والانتقاء، والانتباه المعتمد على البروز (Heisenberg and Wolf, 1984; Tang and Guo, 2001; and van Swinderen and Greenspan, 2003). إضافة إلى ذلك، يمكن أن يتعلم ربط الروائح بالصدمات الكهربية فى ظل نماذج الارتباط الشرطى المتأخر أو بالأثر (Tully and Quinn, 1985). هل يمكن أن يضطرب الارتباط الشرطى بالأثر، وليس المتأخر، بتشتيت الذباب برائحة جذابة لفواكه فاسدة؟ للاطلاع على مناقشة عامة لوعى الحيوانات، انظر Griffin and Speck, 2004.

(١٦) سكينر Skinner (١٩٠٤ - ١٩٩٠) : عالم النفس الأمريكى الشهير (المترجم).

(١٧) يبقى البحث الأصلى الذى يصف عيوب H.M Scoville and Milner, 1957، واحدا من أهم الأبحاث فى البحث السلوكى فى الدماغ. توصف دراسات المتابعة فى 1972 , Corkin et al., 1977 . Milner, Milner, Squire and Kandel, 1998 أزال سكوفيه، جراح المخ والأعصاب، اللوزة واللحاء حول الشمى والشمى الداخلى، والجزء الأمامى من قرن آمون، على الجانبين. أبقى بشكل كبير على اللحاء حول قرن آمون واللحاء الصدغى الجديد.

(١٨) يشير فقد الذاكرة إلى عجز دائم عن معرفة حقائق أو أحداث جديدة (anterograde amnesia)، درجات متنوعة من فقدان مخزون الذاكرة (retrograde amnesia)، ذاكرة قصيرة المدى سليمة، وقدرات ذهنية ومعرفية طبيعية.

(١٩) فى "الملاح التائه The Lost Mariner"، يحكى عالم الأعصاب أوليفر ساكس Sacksقصة أخرى عن مريض من هذا النوع يغرق فى الماضى دائما (Sacks, 1985).

(٢٠) بعد إصابته ببضعة شهور، بدأ الكتابة بشكل قهرى. امتلأ دفتر يومياته، صفحة بعد صفحة، بمواضيع مثل "يقظ للمرة الأولى"، و"استيقظت للمرة الأولى"، و"أنا مستيقظ وعلى قيد الحياة حقا" (Wilson and Wearing, 1995). يوجد تاريخ حالة رجل آخر أصيب بفيروس أتلف المناطق الصدغية الأمامية وتركه عاجزا عن تذكر أى حدث فى حياته كلها أو التعرف عليه، يوجد فى Damisio et al., 1985.

(٢١) الفيلم السوداوى "تذكار" Memento تصوير قوى للإحساس بالحياة فى الحاضر للأبد. قصة لينى Lenny، محكية من منظور ذاتى بتتابع زمنى عكسى، تعرض لتلف فى قرنى آمون أثناء عملية سطو فاشلة أدت إلى وفاة زوجته. فى مهمة للانتقام لقتلها، يرتجل طرقا خيالية مرعبة للتعامل مع عجزه عن تذكُّر أحداث لا تقع فى مجال انتباهه. بجانب كون "تذكار" دراما نفسية شبحية فإنه أيضا أدق تصوير لمختلف أجهزة الذاكرة فى

الإعلام الشعبى. والفيلم من إخراج كريستوفر نولان Nolan، وعرض فى ٢٠٠١. يحلل Sternberg, 2001 الفيلم من منظور علم الأعصاب.

(٢٢) إذا وضعنا فى الاعتبار الوضع الاستراتيجى للفص الصدغى المتوسط، فى تماس حميم مع المراحل العليا من التدرج الهرمى للمعالجة البصرية ولحاء مقدم الفص الجبهى، ربما تساهم بعض خلايا قرن آمون مباشرة فى المحتوى الحالى للوعى لكن يمكن تعويض فقدها.

(٢٣) مفكرة scratchpad: فى الكمبيوتر، تسجيل داخلى سريع لتخزين مؤقت للملاحظات أو البيانات الأولية (المترجم).

(٢٤) ترجع فكرة الذاكرة العاملة إلى أعمال عالم النفس ألن باديلى (Baddeley, 1986, 1990, 2000

(٢٥) هل عانيت من صعوبة فى معالجة بعض التعبيرات، واستفهمت من المتحدثة عما قالت، ثم فهمتها فجأة قبل إتاحة الفرصة لها لتكرار الجملة؟ بشكل افتراضى، هذا هو التأثير المتأخر لمعالجة جهاز اللغة لديك لجزء من الكلام مُخزَّن فى الحلقة الصوتية.

(٢٦) انظر الهامش ٢٥ فى الفصل التاسع للاطلاع على قصة واقعية عن التداخل المعرفى أثناء القيادة والانهماك فى محادثة تليفونية.

(٢٧) قُدِّم التقييم الأصلى ٧+ أو ـ ٢، بقدر ما تكون صورة بلاغية تلخيصا للبيانات فى Miller, 1956. تستعاد مادة ذات دلالة جوهرية تربط عنصرا بالعنصر التالى ـ أعياد الميلاد، تواريخ الأحداث التاريخية ـ أفضل مما تستعاد قائمة بلا معنى (Cowan, 2001).

(٢٨) يمكن أن يبقى الإعداد وقتا طويلا وهو مثال آخر للذاكرة الضمنية.

(٢٩) VanRullen and Koch, 2003a. يزيد عدد الأشياء التى تُتذكَّر بوعى بالنصف تقريبا إذا كانت الصور تومض، واحدة فى كل مرة، قبل ذلك ببضع دقائق. هذا مثال آخر قوى للإعداد الإيجابى. أى إن رؤية شىء مرة تزيد احتمال اكتشافه فى صورة تالية ٥٠٪ تقريبا. فى الإعداد دون الوعى، لا يُطلَب حتى إدراك الصورة بوعى لحدوث الإعداد (Bar and Biederman, 1998, 1999). قوة الإدراك دون الوعى ومدته ضعيفة ولا تسوغ المناظرة الشعبية عن الأساطير المرتبطة بها وقوة الدعاية لها (Merikle and Daneman, 1998).

(٣٠) Shallice, 1988؛ Vallar and Shallice, 1990.

(٣١) Riddoch and Humphreys, 1995.

(٣٢) توحى بعض تجارب التذكر بوصول مسلسل للذاكرة العاملة المخزونة (Sternberg, 1966).

(٣٣) جوكين فوستر Fuster (١٩٣٠ ـ) : عالم أعصاب من مواليد برشلونة (المترجم).

(٢٤) باترشيا جولدمان ريش Rakic (١٩٢٧ ـ ٢٠٠٢): عالمة أمريكية (المترجم).

(٢٥) Goldman-Rakic, Scalaidhe and Chafee, 2000 ;Fuster, 1995, 1997 . أجـــرى Romo et al., 1999 دراسة بارعة للذاكرة العاملة لمعلومات اللمس فى لحاء مقدم الفص الجبهى.

(٢٦) Aksay et al., 2001 ;Compte et al., 2000.

(٢٧) فى الأصل MIT: اختصار Massachusetts Institute of Technology، معهد خاص للأبحاث فى كمبريدج، يضم ٥ مدارس وكلية، ويتكون من ٣٢ قسما أكاديميا (المترجم).

(٢٨) أى إنه إذا كان على الحيوان تذكر الصورة "أ" وشُتِّت انتباهه برقائق، تستمر خلية فى مقدم الفص الجبهى بتمثيل "أ". على العكس، تشفر الخلايا الصدغية السفلية "أ" فقط ما لم لم يُشتَّت انتباه القرد برقائق. (Miller, Erickson and Desimone, 1996) تُوصف تجارب ميلر على خلايا الذاكرة الخاصة بالخاصية و/ أو الموضع فى المنطقة ٤٦ فى Rao, Rainer and Miller, 1997، وفى Miller, 1999.

(٢٩) تنشط مهام الذاكرة العاملة فى البشر مناطق الفص الجبهى، بما فى ذلك اللحاء الحركى وقبل الحركى، وأيضًا مناطق لحائية خلفية (Courtney et al., 1998; Fock- de ert et al., 2001; Pochon et al., 2001).

(٤٠) أجرى سبيرلنج التجربة الكلاسيكية سنة ١٩٦٠ جزءا من أطروحة الدكتوراه. للاطلاع على تطورات أحدث، راجع Potter and Levy, 1969; Gehrig, Loftus, Duncan and 1992; Potter, 1993; Gegenfurtner and Sperling, ١٩٩٣؛ والمجلد الشامل الذى حرره Colt-heart, 1999.

(٤١) افترض Crick, 1984; Billock, 1997 نظريات تؤكد الحلقات الارتدادية فى لحاء المهاد.

(٤٢) Levick and Zacks, 1970; Rolls and Tovee, 1994; Keysers and Perrett, 2002.

(٤٣) باستخدام أشكال مولدة عن طريق الكمبيوتر شكلت لتبدو مثل القطط أو الكلاب أو شىء بينها، أوضح Freedman et al., 2001, 2002 أنه بينما تهتم خلايا اللحاء الصدغى السفلى فى القرد بالصور فى ذاتها، تهتم خلايا لحاء مقدم الفص الجبهى أكثر بفئة المعلومات الواردة، أى إن كانت قطة أم كلبا.

الفصل الثانى عشر

ما يمكن أن تفعله دون وعى: الزومبى من الداخل

عند هذه النقطة، بعيدًا عن رغبة مزعجة فى القرب من بلقاسم Belqassim طوال الوقت، كان من الصعب أن تعرف ما تشعر به. انقضى وقت طويل منذ شقت أفكارها بالكلام بصوت مرتفع، وقد نشأت معتادة على العمل بلا وعى بأنها تعمل. فعلت فقط ما وجدت نفسها تفعله.

بول بوليز من "السماء الواقية" (١)

يمكن أن تكون الزومبيات حية بيننا، أو هكذا يزعم بعض الفلاسفة. تخلو هذه المخلوقات المختلقة من المشاعر الذاتية، لكنها مزودة بسلوكيات مماثلة لنظائرها العادية الواعية. لا معنى لأن تكون زومبيا. ابتكر الفلاسفة الزومبيات بطريقتهم الهادئة لتوضيح تضارب طبيعة الوعى. يرى البعض أن احتمال وجودها يتضمن منطقيا أن الوعى لا يتبع القوانين الطبيعية للكون، أى إنه ظاهرة ثانوية. من هذا المنظور، لا فرق إن شعر الناس أو لم يشعروا، لا فرق بالنسبة لهم ولنسلهم وللعالم عموما.(٢)

يبدو هذا الرأى عقيما فى رأيى أنا وفرنسيس. نهتم بالعالم الواقعى، لا باحتمال منطقى لا يهبط أبدًا حيث تطوف الزومبيات. أدى التطور، فى الواقع، إلى كائنات بمشاعر ذاتية. وهذا ينقل مزايا حية مستمرة؛ لأن الوعى يسير يدا بيد مع القدرة على التخطيط، وعلى التأمل فى مسارات كثيرة محتملة للفعل، وفى اختيار مسار. أتوسع فى تناول هذه النقطة فى الفصل الرابع عشر.

ملاحظة أن الكثير مما يمضى داخل رأسى يهرب منى بالغة الأهمية. وأنا أكبر، متأملا فى حياة من الخبرة، يتضح لى أن أجزاء كبيرة من حياتى تكمن وراء حدود الوعى. أفعل أشياء - أفعالا معقدة مثل قيادة السيارة، أو التحدث أو الذهاب إلى صالة الرياضة، أو الطبخ - تلقائيا، دون تفكير.

تأمل نفسك وأنت تتحدث فى المرة التالية. تسمع جملا مكونة بشكل جيد تندفع من فمك، لكن دون معرفة بالكينونة التى شكلتها فى بناء مناسب. يهتم دماغك بذلك بشكل جيد تماما دون جهد واعٍ من جانبك. ربما تذكِّر نفسك بأن تذْكر هذه الحكاية أو تلك الملاحظة، لكن "أنتَ" الواعى لا تولِّد الكلمات أو تضعها بالترتيب الصحيح.

لا جديد فى هذا. ما دون الذهن، غير الواعى - المعرَّف بالإقصاء بأنه كل ما يجرى فى الدماغ بشكل لا يكفى لتوليد المشاعر أو الأحاسيس أو الذكريات الواعية - كان موضوعًا أكاديميا منذ نهايات القرن التاسع عشر.(٣) كان فردريك نيتشه(٤) أول مفكر غربى كبير يستكشف الثنايا المظلمة للرغبات اللاشعورية عند الإنسان فى السيطرة على الآخرين والتغلب عليهم، وتقنَّعت دائما فى صورة شفقة. فى تقاليد أدبيات الطب، قضى فرويد حياته مبرهنًا على وجود رغبات وأفكار مكبوتة وعلى قدرتها الخارقة على التأثير فى السلوك بطرق خبيئة.(٥)

قدم العلم دليلا معقولا على معرض كامل للعمليات الحركية الحسية المتخصصة، ما أدعوه عوامل زومبية zombie agents، تقوم بالمهام الروتينية فى غياب إحساس أو تحكم شعورى مباشر. قد تعى بفعل عامل زومبى، لكن عادة بعد الحقيقة فقط، خلال التغذية الرجعية الداخلية أو الخارجية. وعلى عكس زومبى الفيلسوف أو الساحر، تعمل العوامل الزومبية باستمرار فينا جميعًا.

لهذه العوامل نتيجة عملية سيئة: مجرد وجود سلوك يبدو معقَّدًا لا يتضمن بالضرورة أن الكائن يعى. مما يفزع ملاك الحيوانات الأليفة أو الآباء الجدد أيضًا، أن تهز الكلبة الأليفة ذيلها أو يبتسم الرضيع ببراعة وربما يفعل ذلك بشكل تلقائى تماما. ينبغى ابتكار معايير إضافية لتحديد الوعى.

١٢ ـ ١ العوامل الزومبية فى الحياة اليومية

بمعنى ما، تشبه السلوكيات الزومبية **الأفعال الانعكاسية**. تتضمن السلوكيات البسيطة الرمش حين يبدو شىء فى مجال رؤيتك، **السعال** حين تُسدُّ ممرات تنفسك، **العطس** حين تدخل حبيبات الغبار أنفك، أو حين تروِّع بضوضاء غير متوقعة أو حركة مفاجئة. يمكن أن تعيها فقط وهى تحدث. هذه الأفعال الانعكاسية تلقائية وسريعة وتعتمد على دوائر فى الحبل الشوكى أو جذع الدماغ. يمكن اعتبار السلوكيات الزومبية أفعالا انعكاسية مرنة ومتكيفة تتضمن مراكز أعلى. يصف هذا الفصل طريقة عملها فى الأصحاء، ويجمع الفصل الثالث عشر أدلة من المرضى بتلف فى الدماغ.

حركات العين

تتخصص نوى وشبكات كثيرة فى تحريك العين. تقوم بذلك فى صمت، عمومًا، دون وعى. أوضح عالم النفس ميلفين جوديل Goodale، من جامعة غرب أونتاريو Ontario فى كندا، واثنان من زملائه، هذا بجلاء تام بالطريقة التالية. جلست متطوعة فى الظلام، مثبتة عينيها على صمام ثنائى يشع ضوءا. حين انطفأ الضوء المركزى وظهر من جديد فى الأطراف، حولت المتطوعة نظرتها إلى موضع جديد بحركة سريعة من العين- ذبذبة. لأن العينين لا تصلان للهدف عادة، فإنهما تعوضان هذا الخطأ بذبذبة ثانية لتهبطا على الهدف بشكل صحيح. هذه وظيفتهما.

ذات مرة، انتقل الباحثون إلى الضوء مرة ثانية، وعينا المتطوعة متورطتان فى ذبذبة. لأن الرؤية تتعطل جزئيا أثناء هذه الذبذبات التى تقوم بها العينان (تذكر كبح ذبذبة العين فى القسم ٢ ـ ٧)، لم تلاحظ المتطوعة القفزة فى موضع الهدف وكان عليها أن تخمِّن اتجاه التحول (الشكل ١٢ـ ١). لم تخطئ عيناها وأنجزت ذبذبة بحجم يناسب الوضع الجديد. عرفتْ عيناها ما لم تعرفه هى. (٦)

جهاز ذبذبات العين حساس بشكل رائع لتغير وضع الهدف. إذا وضعنا فى الاعتبار تخصصه بدرجة عالية، لا تكون هناك حاجة لتوريط الوعى فى أفعاله

النمطية. إذا تطلب الأمر أن تعى كل حركة عين، لتخطط لها وتنفذها، فلن تقدر على القيام بشيء آخر بجانبها. لماذا نعيق التجربة بهذه التفاصيل إذا كان من الممكن قصر الأمر على المتخصصين؟



الشكل ١٢ ـ ١ حماقة الرؤية لا العين: يحرك المشاهدون عيونهم بسرعة حين يتغير موضع الضوء (اليسار)؛ ذبذبة أولى كبيرة تتبعها حركة تصحيح صغيرة للعين لوضع الهدف بشكل صحيح فى النقرة. فى بعض المحاولات (اليمين) يتحرك الضوء مرة أخرى والعيون تنتقل. لا يرى الأشخاص هذه القفزة فى وضع الضوء؛ وتعوض عيونهم التحول الخفى عن الإدراك. معدل عن Goodale, Pélisson, and Prablanc, 1986.

اتزان الجسم

تضبط عوامل أخرى بلا وعى الرأس والطرف ووضع الجسم. وأنت تشق طريقك بين جموع المتسوقين على جانب الطريق، ينضبط جذعك وساقاك وذراعاك باستمرار لتبقى منتصبا، وتتجنب الاصطدام فى أى شخص. لا تفكرُ فى هذه الأفعال التى تتطلب جزءا من الثانية واندماجًا رائعًا للعضلة والعصب، شيئًا لم تقترب آلة من تحقيقه.

فى تجربة رائعة، أوقف علماء النفس[٧] أناسًا فى حجرة زائفة، حوائطها مصنوعة من البوليسترين[٨] ومعلقة فى السقف داخل غرفة أكبر. والحوائط

الرغوية تتحرك برقة للخلف والأمام بضع مليمترات، يكيف الناس وضعهم للخلف والأمام بشكل متناغم. لا يعى معظمهم حركة الغرفة أو التكيف التعويضى لأجسامهم.

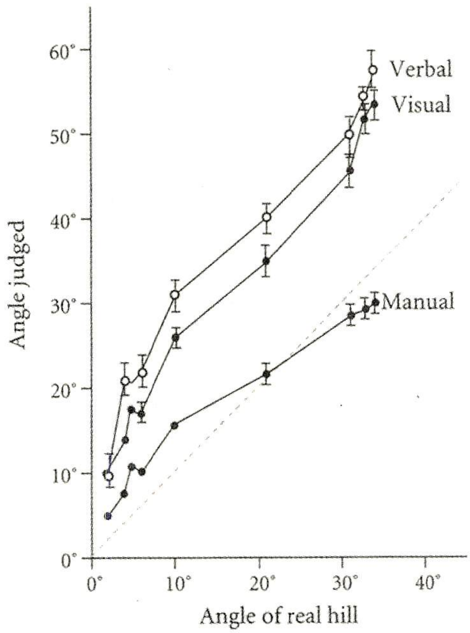
تستقبل الشبكات التى تتوسط الاتزان ووضع الجسم باستمرار معلومات محدَّثة، من حواس كثيرة، لا من الرؤية فقط. تدعم الأذن الداخلية دوران الرأس والتسارع الخطى، ويضبط عدد هائل من حواس الحركة والوضع والضغط فى الجلد والعضلات والمفاصل وضع الجسم فى الفضاء. كل هذه المعلومات فى خدمة العوامل الزومبية المنسقة جدا وغير الشعورية تمنعك من الاصطدام بدراجة تقترب وتحفظ اتزانك حين يصفعك صديق بشكل غير متوقع على ظهرك.[٩]

تقدير انحدار الهضاب

هل تساءلْتَ ذات مرة وأنت تقود سيارة فى الجبال عن التباين "الواضح" بين الانحدار المحدد على علامة الطريق وإحساسك بأن الميل أكثر انحدارًا؟ أكد عالم النفس دينيس بروفيت Proffitt فى جامعة فيرجينيا فى شارلوتسفيل هذه الملاحظة العابرة. وهى مجرد مثال مدهش للانفصال بين الإدراك والفعل.[١٠]

وقف بروفيت ومساعدوه عند سفوح الهضاب وسألوا ٣٠٠ دارس ناجح عن الانحدار باستخدام مقاييس لفظية وبصرية ويدوية. بالنسبة للحكم البصرى، كان على الخاضعين للتجربة وضع قرص مركَّب خلف منقلة مختفية بالزاوية التى اعتقدوا أنها تطابق بأفضل صورة ميل الهضبة المرئية بوضوح. فى الطريقة اليدوية، ضبط المتطوعون لوحا مائلا مع راحة مفلطحة موضوعة على حامل ثلاثى. ولتجنب "التلوث" من البصر، مُنِعوا من النظر إلى أيديهم.

قدَّر المتطوعون انحدار هذه التلال بشكل سيئ حين حكموا عليه لفظيا أو بصريا، وأصابوا حين استنتجوا الانحدار بأيديهم (الشكل ١٢-٢).



الشكل ١٢-٢ **جسدك يعرف أفضل من عينك**: أشار المتطوعون إلى انحدار التلال لفظيا، أو بحكم بصرى، أو بضبط إمالة أيديهم الممتدة المفلطحة. كانوا دقيقين نسبيا فى الحالة الأخيرة، واستمروا فى تقدير الانحدار بأكثر من حقيقته باستخدام اللغة أو الرؤية. معدَّل عن Proffitt et al., 1995.

بشكل لافت، يعتمد عدم التطابق بين الانحدار المُدْرَك لهضبة والأفعال الموجهة بصريا، مثل وضع اليد أو القدم، على الحالة الفسيولوجية للفرد. زاد التقدير اللفظى والبصرى الزائد لانحدار الهضبة بمقدار الثلث بعد سباق مرهق على الأقدام، ولم يتأثر تقدير اليد العمياء. وأنت مرهق تبدو الهضاب أكثر انحدارًا مما لو كنْتَ مستريحًا.(١١) ما تراه بوعى ليس الشىء نفسه الذى يوجه أفعالك.

تمشية ليلية

قضيْتُ جزءًا من صيف ١٩٩٤ فى معهد سانتا فى(١٢) للأمور المعقدة فى نيو

مكسيكو. أقنعتْنى ساندرا بليكسلى Blakeslee، صحفية تكتب فى مجال العلوم تعيش فى المنطقة، بجولة ليلية تنظمها متنزهات نيلسون زينك Zink وستيفن Stephen، معالجون نفسيون وكتاب يعملون انطلاقا من تاوس. [١٣] ذهبتُ من أجل خبرة مثيرة إلى حد ما يمكن أن تكون مثالا آخر لسلوك حركى بصرى تلقائى منفصل عن الإدراك الواعى.

تجمعنا على أرضية ينبوع الوادى خارج البلدة فى الليل. كانت السماء غير المقمرة صافية، ومئات النجوم تسطع فيها. كانت القدرة على الرؤية منخفضة، ولم تكن منعدمة تمامًا. وضعنا على رؤوسنا كابات بيسبول والسلك معلق أمامنا مباشرة وكرة من الفلوروسنت متصلة بنهايته. تبرق الكرة، مشحونة ببطارية، شاحبة لدقائق. كانت الخدعة أن تسير منتصبا فى الظلام وأنت تنظر إلى الكرة، معلقة تحت الكاب، وتركز عليها رغم الرغبة الملحة فى فحص الأرض أمامك. فى البداية، تحركْتُ إلى الأمام بحذر شديد على أرضية رملية وصخرية، مستكشفًا بقدمى قبل أن أتقدم بثقلى. بعد دهشة قصيرة أصبحْتُ أكثر ثقة وسرْتُ بخطى أسرع نسبيا على أرض غير مستوية إلى حد بعيد، أحدق طوال الوقت فى الكرة. فى النهاية، صارت الكرة غير ضرورية، وكان التركيز على الأفق البعيد أو نجمة كافيا لمنع الرؤية المركزية من المساعدة فى وضع القدمين.

أحد تفسيرات هذه التمشية الليلية أن المعلومات التى تلتقط على مسافة ما تُخزَّن ضمنيا وتوجه موضع القدمين بمجرد الوصول إلى ذلك الموضع. ربما يكون ذلك عملا فذا فى هذه الأودية المليئة بالهضاب الرملية، والثقوب، وقيعان الأنهار الجافة. [١٤]

بشكل بديل، ربما تضبط الأطراف البصرية السفلى جدا زاوية وضع القدمين، والارتفاع الذى يتطلب الأمر أن ترتفع إليه لتجنب اصطدام الأصابع بالصخور، دون أن يؤدى ذلك إلى خبرة بصرية. يمتد تمثيل مجال الرؤية فى الحدبة التوأمية العليا بشأن القدمين فقط، وهكذا يكون للجهاز العصبى مدخل إلى هذه المعلومات. [١٥] لا يوجد سبب لتقسيم الأشياء على حافة الرؤية، وتفسير عدم امتداد الرؤية بوعى إلى هناك.

يمكن اختبار هذه الأفكار بتحديد المدى الذى يقدم به المجال الطرفى السفلى إشارات للسير فى ظل الإضاءة الضعيفة. كيف يصف السائرون فى الليل سطح منحدر أو ارتفاع العقبات الموجودة على الأرض؟ كيف يمكن مقارنة هذه الأحكام الذاتية بالوضع الحقيقى للأقدام؟ هل تعرف القدمان شيئا ظاهريا لا تعرفه الرؤية؟

١٢ ـ ٢ الرؤية للإدراك مختلفة عن الرؤية للفعل

يدافع عالم النفس ديفيد ميلنر Milner، فى جامعة دورهام Durham فى إنجلترا، وميلفن جوديل Goodale عن تعدد الأجهزة الحركية البصرية، كل منها يتحكم فى سلوك معين، مثل حركات العين، وتعديل الوضع، وقبضة اليد أو الإشارة بها، وموضع القدمين، إلخ، لكن ليس منها جهاز يؤدى إلى الإحساس بوعى.[١٦] فكر فى كل منها وأنت تقوم بعملية حسابية متخصصة جدا فى زمن حقيقى. يسميها ميلنر وجوديل اجهزة مباشرة. هذه السلوكيات الحركية البصرية تهتم بما يدور هنا والآن. لا تحتاج للوصول إلى الذاكرة العاملة أو التصريحية. ليست وظيفتها. توضح التجارب السيكولوجية بشكل قاطع تمامًا أن فرض تأخير من ثانيتين إلى أربع بين ورود معلومات بصرية وجيزة والحركة المطلوبة من اليد أو العين يصب فى خريطة فضائية مختلفة للعالم، قريبة من التى يستخدمها الإدراك البصرى، ومميزة تمامًا عن المستخدمة لتنفيذ استجابة حركية شبه فورية.[١٧]

هذه الأجهزة الحركية البصرية مثل جيش من العوامل الزومبية. تعمل بالتوازى مع شبكات تتوسط تقسيم الأشياء والتعرف عليها وتعريفها- أى الشبكات المسئولة عن الإدراك الشعورى (الجدول ١٢ ـ ١).

الجدول ١٢-١ فرضية الجهازين البصريين لميلنر وجوديل

	العوامل الزومبية	جهاز الرؤية
المعلومات البصرية الواردة	بسيطة	يمكن أن تكون معقدة
النتاج الحركى	استجابات نمطية	كثير من الاستجابات المحتملة
أدنى وقت للمعالجة	قصير	أطول
تأثير بضع ثوانٍ تأخيرًا	لا تعمل	يمكن أن تظل تعمل
النظائر المستخدمة	تركز على الأنا	تركز على الموضوع
الوعى	لا	نعم

لأن العوامل المباشرة تساعد الكائن على الإبحار بأمان فى العالم؛ فإنها تتطلب الوصول إلى وضع حقيقى للهدف بالنسبة للجسم. ينبغى للإدراك، على الجانب الآخر، التعرف على الأشياء ووصفها مثل "موز فاسد"، "وجه متورد"، إلخ. يمكن أن تكون الأشياء بعيدة أو قريبة، وينبغى التعرف عليها فى ضوء الشمس الساطعة فى منتصف النهار أو فى الظلام، بحيث ينبغى أن يثبت إدراك الشىء بالنسبة للبعد، الضوء المحيط، الموضع الدقيق على الشبكية، إلخ. ونتيجة لذلك، الموضع الفضائى لما تراه بوعى ليس بدقة المعلومات القابلة للوصول لعاملك غير الشعورى المخطِّط للنقلة التالية.

هذه الاستراتيجية تصنع فهمًا كاملا من منظور حسابى. يتطلب الأمر أن تمتد الحسابات العصبية وتنتزع أداة (الرؤية للفعل) وتعمل فى إطار مرجعى ويختلف ثباتها عن العمليات التى تحدد أن الشىء مطرقة (الرؤية للإدراك).

فى مسار الأحداث اليومية العادية تتشابك العوامل الزومبية مع الشبكات التى تتوسط الإدراك. ما تدركه، أو تتعلمه، أو تتذكره، تضافر لعمليات غير واعية وعمليات واعية، وفصل مساهماتها ليس أمرا سهلا. [١٨] بفحص الغضون، التى تفترق عندها الرؤية للإدراك والرؤية للفعل، يختبر ميلنر وجدويل الاثنتين فى عزلة نسبية.

ينبغى على الإدراك أن يتعرف على الأشياء على حقيقتها، بصرف النظر عن موضعها. على العكس، ينبغى على الجهاز الحركى أن يعرف العلاقة الفضائية الدقيقة للشىء الذى ينبغى أن يتناوله الكائن. اتفاقا مع هذا الرأى، يرى ميلنر وجوديل أن وهم **ثبات الحجم** - حقيقة أن الشىء يبدو فى الحجم ذاته بصرف النظر عن بعده أو قربه - ينطبق فقط على الرؤية للإدراك، وليس على الرؤية للفعل، ووظيفتها النظر إلى الأشياء أو الإشارة إليها أو التقاطها. ويتطلب هذا معلومات دقيقة عن حجم الشىء وموضعه ووزنه وشكله. بدأ اختبار هذه الأفكار المغرية، لكن لم يتم التوصل إلى حد بعيد إلى استنتاجات قاطعة.[١٩] اكتُشِف بعض التفكك بين الرؤية للفعل والإدراك - شاهد القسم السابق عن تقدير الانحدار - لكن تجسيده فى مواضع أخرى.[٢٠]

فرضية تجميع عوامل زومبية حركية بصرية متخصصة، مكملة بفرضية أكثر عمومية، وحدة لرؤية واعية متعددة الأوجه، فرضية جذابة. تتضافر بشكل رائع مع فرضية، معروضة فى الفصل الرابع عشر، بأن وظيفة الوعى التعامل مع كل الأوضاع التى تتطلب استجابة جديدة غير نمطية.

١٢ - ٣ يعمل زومبيك بأسرع مما ترى

من المزايا الرئيسية للعوامل الزومبية أن طبيعتها التخصصية تسمح لها بالاستجابة بأسرع من جهاز إدراك الأغراض العامة. تنتزع القلم قبل أن تراه يتدحرج من على الطاولة أو تبعد يدك بعيدا عن موقد سخن قبل أن تشعر بحرارته.

هذه النقطة الأخيرة مهمة؛ لأنها تناقض مقولة أنك تبعد يدك لأنك تحس الألم بوعى. إبعاد طرف بعد محفز مزعج أو فعل انعكاسى على مستوى الحبل الشوكى؛ لا يتطلب دماغًا. تتمتع الحيوانات مقطوعة العنق decapitated وأيضا المصابون بالشلل السفلى الذين ينفصل فيهم الجزء السفلى من الحبل الشوكى عن الدماغ، بهذه الأفعال الانعكاسية الانسحابية. لا يتورط الوعى فى هذه الأفعال (تذكرْ هذه النقطة حين أناقش وظيفة الوعى فى الفصل الرابع عشر).[٢١]

مارك جينور Jeanerod من معهد العلوم المعرفية فى برون Bron، فرنسا، أحد الخبراء البارزين فى العالم فى علم أعصاب الفعل. فى تجربة رائعة، [٢٢] قدر جينور وزملاؤه التأخير بين استجابة يدوية سريعة والوعى الذاتى. وضعت ثلاثة مسامير أمام مشاهدة تستريح يدها على طاولة. فجأة، أضىء المسمار الأوسط من أسفل وكان عليها أن تمد يدها وتقبض عليه بأسرع ما يمكن. أحيانا، تحول الضوء إلى المسمار الأيسر أو الأيمن فورا ويدها تبدأ الحركة، ليصبح الهدف الجديد. كان على المشاهدة أن تصيح بمجرد رؤية الهدف الجديد يضىء.

فى المتوسط، ينقضى ٣١٥ ملى ثانية بين بداية الاستجابة الحركية والنطق. وفى بعض الحالات، رفعت المشاهدة المسمار الثانى قبل أن تدرك أنه الهدف الجديد- أى إن الفعل سبق الوعى. حتى حين منحت ٥٠ ملى ثانية بسخاء للتأخر بين بداية تقلص عضلات النطق وبداية الصيحة، لا يزال ذلك يترك ربع ثانية بين القبض على المسمار والإدراك الواعى الذى أدى إلى الصيحة. هذا التأخير هو الثمن الذى يُدفَع مقابل الوعى.

لوضع هذا فى الصورة، تأمل مسار رياضى. بافتراض، بحذر، أن التأخير ٢٥٠ ملى ثانية ينطبق أيضًا على الجهاز السمعى، يكون العدَّاء خارج نقطة الانطلاق[٢٣] حين يسمع بوعى انطلاق طلقة البداية! بشكل مماثل، على لاعب بيسبول يواجه كرة مندفعة تقترب بسرعة ٩٠ ميلاً فى الساعة أن يبدأ تحريك مضربه قبل أن يعى قراره محاولة ضرب الكرة أو تركها تمر.

١٢ ـ ٤ هل يمكن أن يشم الزومبى؟

لا تقتصر العوامل الزومبية على المجال البصرى. توجد فى كل الحواس. والشم حاسة مفيدة للاستكشاف. رغم اشمئزاز الثقافة المعاصرة بقوة من روائح الجسد ـ موقف أدى إلى إنتاج عدد لا يحصى من المنتجات الصحية التى تسعى إلى إخفائها ـ فإننا نعيش فى عالم له رائحة، سواء وعينا ذلك أم لم نعِ. وظُنَّ لوقت طويل أن الكثير من السلوكيات الجنسية والمشهية والتناسلية تطلقها إشارات شم أضعف من أن نعيها. وكان من الصعب إثبات هذه النظرية بقوة.

تمتد الأمثلة التى تتخذ فيها القرارات بناء على الشم من التوافه مثل اختيار مقعد فى سينما، إلى الجوهرى، مثل اختيار الرفيق. من أفضل الأمثلة الشائعة تزامن دورات الطمث بين النساء اللائى يعشن أو يعملن معا متلاصقات (كما فى مساكن الجامعة أو معسكرات الجيش).(٢٤) فى دراسة جيدة التصميم، وضعت مارتا مكلينتوك McClintock فى جامعة شيكاجو المركبات عديمة الرائحة من تحت إبط النساء على الشفاه العليا لإناث أخريات. قصرت دورة طمث المستقبلة أو طالت طبقا للمرحلة التى كانت فيها المانحة. (٢٥)

يمكن أن تتوسط الفيرومونات pheromones، مركبات متطايرة يفرزها فرد وتعدل فسيولوجيا فردًا آخر أو سلوكه، مثل هذه التأثيرات. تستجيب بعض الحيوانات لجزىء واحد من الفيرومونات.(٢٦) فى حالة البشر، يحتوى إفراز إبط الرجال على مشتق من التيستوستيرون، وتفرز النساء مركبا يشبه الإستروجين. تؤدى المادتان المحمولتان فى الهواء إلى تغيرات فسيولوجية خاصة بالوعى فى البنى العصبية العميقة.(٢٧)

كيف يمكن توسط هذه الإشارات غير الشعورية المحمولة فى الهواء؟ ربما يكون أحد المتهمين العضو الأنفى الميعى vomeronasal. لا يقدَّر على نطاق واسع أن الثدييات لا تتمتع بحاسة شم واحدة بل بحاستين. ينشأ العضو الأساسى للشم فى النسيج الرئيسى المبطن للأنف ويمتد إلى بصلة الشم ومن هناك إلى لحاء الشم. وهذا العضو جهاز متناغم عموما مع كل الأغراض. تبدأ الوحدة الثانية فى العضو الأنفى الميعى عند قاعدة التجويف الأنفى. ومن هناك، تمضى المحاور إلى بصلة ثانوية للشم وتتجه أمامًا إلى اللوزة. ينقل العضو الأنفى الميعى الفيرومونات ويرتبط بالاتصال الخاص بالنوع.(٢٨)

يُعرَف ما يكفى عن جزيئات مستقبلات الشم فى الفأر بحيث يمكن إعاقة التعبير فى عضو وعدم إعاقته فى الآخر، مما يمكِّن من دراسة الارتباطات الجزيئية والعصبية لسلوكيات جنسية أو تناسلية سبقت برمجتها وراثيا.(٢٩)

فى معظم البشر، ربما يكون الجهاز الأنفى الميعى، ويسمى أحيانا عضو ياكبسون Jacobson، أثريا - بلا وظيفة. ربما انتقلت وظيفته إلى المسار الأولى للشم. ثمة احتمال آخر مميز وهو أن مجموعة فرعية فقط من البالغين تجسد

مستقبلات ذات صلة. يمكن لبرنامج بحثى قوى تحديد الأفراد المعرضين لروائح "بلا رائحة" لمزيد من الفحص الجينى والفسيولوجى، لمقابلة الركيزة العصبية للمعالجات غير الواعية والمعالجات الواعية للشم.

١٢ ـ ٥ الملخص

راجع هذا الفصل أدلة كثيرة عن العوامل الزومبية- عوامل حركية حسية شديدة التخصص تعمل بشكل جيد تماما دون أن تؤدى إلى أحاسيس ظاهرية. العلامات المميزة لعامل زومبى: (١) معالجة سريعة تشبه الفعل الانعكاسى، (٢) مجال استقبال ضيق ومتخصص، (٣) سلوك خاص، (٤) الافتقار إلى مدخل للذاكرة العاملة.

فى المجال البصرى، يدافع ميلنر وجوديل عن استراتيجيتين متميزتين للمعالجة، الرؤية للفعل والرؤية للإدراك، تنجزان بشبكات فى المسارين الظهرى والبطنى، بالتتابع. ولأن وظيفة العوامل الحركية البصرية القبض على الأشياء أو الإشارة إليها، يتطلب الأمر تشفير المسافة الحقيقية بين الجسم وهذه الأشياء، وحجمها، والمقاييس الأخرى. يتوسط نموذج الرؤية للإدراك الرؤية بوعى. ينبغى التعرف على الأشياء بصرف النظر عن حجمها أو وجهتها أو موضعها. مما يفسر توصل العوامل الزومبية إلى معلومات عن العلاقات الفضائية فى العالم بشكل أكثر صدقا من الإدراك. أى إنه بينما قد لا ترى ما يظهر هناك، يراه جهازك الحركى. تشمل الأمثلة البارزة على هذا التفكك متابعة أهداف بعينيك، وتعديل وضع الجسم، وتقدير انحدار التلال، والسير ليلا.

العوامل الزومبية تضبط عينيك ويديك وقدميك ووضعك، وتحول بسرعة معلومات حسية إلى نتاج حركى نمطى. ربما تطلق أيضًا السلوكيات العدوانية أو الجنسية حين تحصل على نفحة المادة الصحيحة. كلها، مع ذلك، تتجاوز الوعى. هذا الزومبى أنت.

ولم أذكر شيئا عن الاختلافات بين أنماط المعالجة الزومبية والشعورية على المستوى العصبى. الموجة الشبكية المندفعة إلى الأمام، التى تطلقها معلومات حسية وجيزة، ربما تكون مؤقتة تماما بدرجة لا تكفى للارتباطات العصبية

للوعى، ويمكن أن تتوسط السلوكيات الزومبية. المطلوب للإدراك بوعى زمن كاف لنشاط التغذية الرجعية من المناطق الجبهية لبناء شروط ثابتة. وأتوسع فى هذا الموضوع فى القسم ١٥-٣.

يمكن أن يكون التفكك بين السلوكيات الواعية وغير الواعية أكثر وضوحا فى المرض. وهو موضوع الفصل التالى.

الهوامش:

(١) بول بوليز Bowles (١٩١٠ ـ ١٩٩٩): موسيقى ومؤلف ومترجم أمريكى. و"السماء الواقية "The Sheltering Sky رواية نشرت سنة ١٩٤٩ (المترجم).

(٢) للاطلاع على النسب التاريخى لزومبى الفيلسوف، انظر (Kirk, ;Campbell, 1970 .(Chalmers, 1996 ;1974

(٣) يقدم Ellenberger, 1970 نظرة تاريخية على غير الوعى واللاوعى. الدراسة الدقيقة للسلوكيات الحركية الحسية غير الواعية محفوفة بصعوبات منهجية. ليس من السهل أن نفصل الاستهلال السريع والتلقائى لفعل عن إشارة متأخرة وواعية بطلب الفعل أو بالفعل المنفَّذ ذاته. ثمة تعقيد آخر ينشأ من الحاجة إلى محاولات متعددة، ضرورية لتجميع إحصاءات كافية. يمكن أن يقدم تكرار المهمة تغذية رجعية كافية بحيث يمكن للشخص ـ بمرور الوقت ـ تعلم الوعى ببعض أوجه السلوك. للاطلاع على مراجعات وتجارب مرتبطة بالموضوع، انظر Merikle, Holender, 1986 Cheesman and Merikle, 1986 Merikle, Semilek Berns, Cohen and Mintun, 1997 ; Kob and Braum, 1995 ،1992 Curran, 2001 Destrebecqz and Cleeremans, 2001 and Eastwood, 2001

(٤) نيتشه Nietzsche (١٨٤٤ ـ ١٩٠٠) : الفيلسوف الألمانى الشهير (المترجم).

(٥) أتجنب، عموما، استخدام مصطلح "اللاوعى "unconscious بسبب طابعه الفرويدى، مفضلا مصطلح "غير الوعى "nonconscious الأكثر حيادية للإشارة للعمليات أو الحسابات غير الكافية للمحتوى الظاهر.

(٦) حين أصبحت حركة الهدف أثناء ذبذبة العينين كبيرة جدا، لاحظ الأشخاص التغير وقاموا بتعديل أكبر وأبطأ. التجربة الملخصة هنا موصوفة فى Goodale, Pélisson, and Prablanc, 1986، مؤسسة على عمل سابق لبروس بريجمان Bridgeman فى جامعة كاليفورنيا فى سانتا كروز Santa Cruz. وهو متخصص فى كشف الانفصال بين الإدراك البصرى وحركات العين أو اليد،(Bridgeman et al., 1979; and Bridgeman, Kirch, and Sperling, 1981).

(٧) Lee and Lishman, 1975.

(٨) البوليسترين polystyrene: راتنج صناعى يستخدم أساسا رغوة صلبة خفيفة (المترجم).

(٩) أنصح بقراءة تاريخ الحالة المثيرة لشخص فقد فى التاسعة عشرة كل أحاسيس الجسد أسفل العنق (Cole, 1995). فى غياب تغذية رجعية للإحساس بالوضع من جسمه، تعلم المريض تدريجيا، بقدرة مذهلة، التحكم بوعى فى أطرافه بالنظر. يوضح الكتاب كيف أن الحياة اليومية تعتمد تماما على معالجة غير واعية.

(١٠) شارلوتسفيل Charlotteville: مدينة وسط فرجينيا (المترجم) .Proffitt et al., 1995

(١١) وُجد تأثير مماثل حين وضع الأشخاص حقائب ظهر ثقيلة، أو حين كانت لياقتهم الجسدية ضعيفة، أو أكبر سنا، أو بصحة متدهورة (Bhalla and Proffitt, 1999). يرى بروفيت أن العلاقات المختلفة بين الانحدار الحقيقى والمُدْرَك تعكس القدرة السلوكية للكائن. يناظر المدرك الذاتى المائل قدرتك على صعود الهضاب. إنه عمل شاق ولا يجب أن يؤخذ باستخفاف. ربما يصبح حتى أكثر مشقة إذا كنْتَ مرهقا أو هزيلا أو تحمل حملا ثقيلا.

(١٢) سانتا فى Santa Fe: عاصمة ولاية نيو مكسيكو، جنوب غرب أمريكا (المترجم).

(١٣) تاوس Taos: بلدة شمال نيو مكسيكو (المترجم).

(١٤) أكدت الحاجة إلى الرؤية الطرفية حيث إن النظارات التى غطت كل شىء إلا الجزء المركزى من مجال الرؤية جعلت السير مستحيلا.

(١٥) مجالات الاستقبال فى المسار البطنى، مسار الرؤية للإدراك مركزه فى النقرة أو حولها.

(١٦) أوصى بدراستهما الشاملة، Milner and Goodale, 1995. للاطلاع على رأى مرتبط بهذا الأمر، انظر Rossetti, 1998.

(١٧) Wong and Mack, 1981؛ Abrams and Landgraf, 1990؛ وخاصة دراسة Bridgeman, Peery and Anand, 1997.

(١٨) تعرف مشكلة فصل السلوكيات الواعية من السلوكيات غير الواعية باسم مشكلة نقاء العملية (Reingold and Merikle, 1990؛ Jacoby, 1991).

(١٩) تنص الهندسة على أن الحجم الخطى يتناسب عكسيا مع المسافة. لكن لا يبدو شخص على بعد خمسة أمتار ضعف حجمه وهو على بعد عشرة أمتار. يقدم Aglioto, DeSouza and Goodale, 1993 دليلا على أن ثبات الحجم يعمل فى مجال الإدراك لا فى المجال الحركى البصرى، ولم يجد Franz et al., 2000 مثل هذا الفصل (انظر أيضًا Milner and Dyde, 2003؛ Carey, 2001؛ Yamagishi, Anderson, and Ashida, 2001.

(٢٠) فى تجربة عن الإبحار الفضائى، حكم الناس على المسافة (بين متر وخمسة أمتار) بالنسبة لهدف مرئى بوضوح. قورن هذا التقدير بالتقدير الميت (عملية تقدير الوضع

الحالى للمرء بناء على وضع محدد سلفا ـ المترجم)، حين سار الأشخاص وعيونهم مغلقة إلى الموضع (المفترض) للهدف. غالى المقياسان كلاهما باستمرار فى تقدير المسافة للنقط القريبة وقللا من تقديرهما للمواضع الأبعد (Philbeck and Loomis, 1997). حيث إن المقياسين انحرفا بالقدر ذاته عن البعد الفيزيائى الحقيقى، فإن الاثنين يستخدمان المعلومات ذاتها، على عكس تقدير الانحدار الذى ناقشناه فى القسم السابق.

(٢١) على سبيل المثال، إذا استخدم المحفز المؤذى على ظهر ضفدعة بلا رأس، يحاول الطرف المناسب هرشه. القدرات الحركية الحسية اللافتة للحيوانات مفصولة الرأس أو المخ كانت فى صلب مناظرة فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر عن مدى ارتباط الوعى بالحبل الشوكى (Fearing, 1970).

(٢٢) يقدم Castiello, Paulignan and Jeanerod, 1991 معالجة دراسية لعلم أعصاب الفعل.

(٢٣) نقطة الانطلاق أو مثبت القدمين starting block: أداة فى مسارات السباق تمسك قدمى الرياضى فى بداية السباق حتى لا تنزلقا عند سماع صوت البندقية (المترجم).

(٢٤) يعرض McClintock, 1998؛ Weller et al., 1999؛ Schank, 2001 أدلة تؤيد تزامن الطمث وأدلة ضده. يذكر Gangestad, Thornhill and Graver, 2002 كيف أن الاهتمامات الجنسية للنساء، والاستجابة لرفاقهن، تتوهج وتخفت مع التبويض.

(٢٥) Stern and McClintock, 1998.

(٢٦) Pantages and Dulac, 2000.

(٢٧) يطلق الفيرونوم المشتق من التيستوستيرون استجابة فى تحت المهاد فى النساء وليس فى الرجال، بينما تستثير المادة المرتبطة بالإستروجين تحت المهاد فى الرجال وليس فى النساء (Savic, 2002؛ Savic et al., 2001). يستمر نشاط الدماغ حتى حين لا يكتشف الشخص الرائحة (Sobel et al., 1999).

(٢٨) يراجع Johnston, 1988؛ Keverne, 1999 الأدبيات الأكاديمية، ويقدم Watson, 2001 تعليقا شعبيا. اكتشف Holy, Dulac and Meister, 2000 أن الخلايا الأنفية الميعية الفردية فى الفأر قادرة على التمييز بين بول الأنثى وبول الذكر.

(٢٩) يستطيع الباحثون الآن تربية فئران بعضو أنفى ميعى مدمر. هذه الحيوانات المعدلة وراثيا ينقصها العداء المتبادل بين الذكور. بدلا من ذلك، تستهل سلوكيات ود تجاه الذكور والإناث (Stowers et al., 2002).

الفصـل الثـالث عشر

العمه، وعمى البصر، والصرع، والسير أثناء النوم: الدليل الإكلينيكى على الزومبيات

وكما هو الحال مع المرض: ألا نُغرَى غالبا بالسؤال عما إذا كنا نستطيع أن نواصل دونه؟

فردريك نيتشه "العلم المرح" (١)

تُبرِز الحالةُ المرضية غالبًا، أو تكشف، سمات تظهر بالكاد والصحة جيدة. تاريخيا، كان الطب السريرى أحد أكثر مصادر البُصيرة خصوبة بشأن الدماغ. تؤدى أهواء الطبيعة إلى نقص الأكسجين، أو حالات السكتة الدماغية، أو الأورام، أو اضطرابات مرضية أخرى يمكن، إذا كانت محدودة فى مجالها ومفسَّرة بشكل صحيح، أن تلقى الضوء على بحثى وترشده.

فى الدماغ السليم، تتضافر السلوكيات الزومبية بشدة مع السلوكيات الشعورية ويصعب عزلها، لأن الوعى، حتى إذا وُلِّدت الاستجابة تلقائيا، ربما يتبعها فى غمضة عين. أنتقل الآن إلى أربع متلازمات إكلينيكية تكشف بشكل جيد أفعال العوامل الزومبية.

١٣ ـ ١ العمه البصرى

يُعرَّف العمه agnosia الخالص، وهو حالة نادرة نسبيا، بأنه فشل فى التعرف لا يُعزَى إلى عيوب حسية أولية (على سبيل المثال، عيوب الشبكية)، أو تدهور

ذهنـي أو لغـوى، أو اضطرابـات الانتـباه. ويقتـصـر غالبًا عـلى حاسـة واحـدة. لا تتعرف، عادة، مريضة العمه البصرى على مجموعة مفاتيح فى سلسلة معلقة أمامها. إذا قبضت عليها أو إذا أصدرت المفاتيح صوتا، تعرف حقيقتها فورًا.

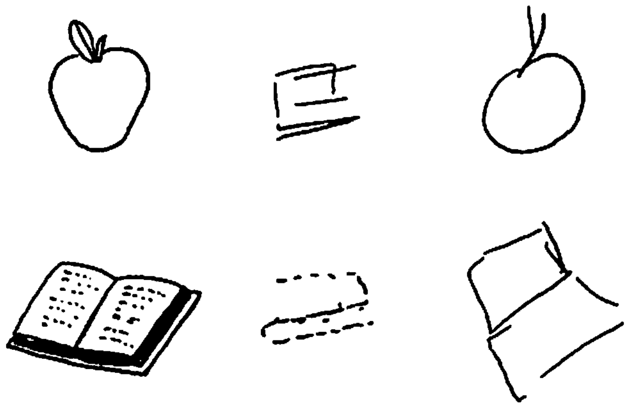
أعاد فرويد تعميد ما يسمى شعريا عمى الروح[٢] وبقى المصطلح. توجد كل فئات فرعية ملتوية، بما فى ذلك العجز عن إدراك اللون (عمى الألوان؛ القسم ٨-٢)، فقدان إدراك الحركة (عمى الحركة)، العجز عن التعرف على الوجوه (عمى الوجوه؛ القسم ٨ ـ ٥)، ومتلازمة كبجرس Capgras، وفيها يصر المريض على أن محبوبًا، ولتكن الزوجة، لمسها دجال يبدو ويتحدث ويحس بالضبط كما اعتادت من قبل، حل شخص غريب مكانها. [٣]

يتضمن التلف الموضعى تماما فى الدماغ، المرتبط بالعمه أن الارتباطات العصبية للوعى بإدراك صفات معينة مثل اللون أو الحركة أو الوجوه أو الإحساس بالألفة، تقتصر على جزء من لحاء المخ؛ أى إن منطقة معينة من الدماغ تمثل عقدة أساسية للصفة المدركة التى نتناولها. افترضتُ أنا وفرنسيس، مسلحين ببيانات الخلية المفردة، أن الارتباطات العصبية للوعى فى هذه العقد الأساسية تعتمد على تمثيل عمودى صريح (القسم ٢ـ٢).

لنأخذ حالة د. ف.، مريضة تعانى من عمه عميق للأشياء، نتيجة تسمم بأول أكسيد الكربون حتى أوشكت على الموت فى الرابعة والثلاثين. أدى نقص الأكسجين إلى تلف واسع الانتشار وغير قابل للشفاء فى دماغها.[٤]

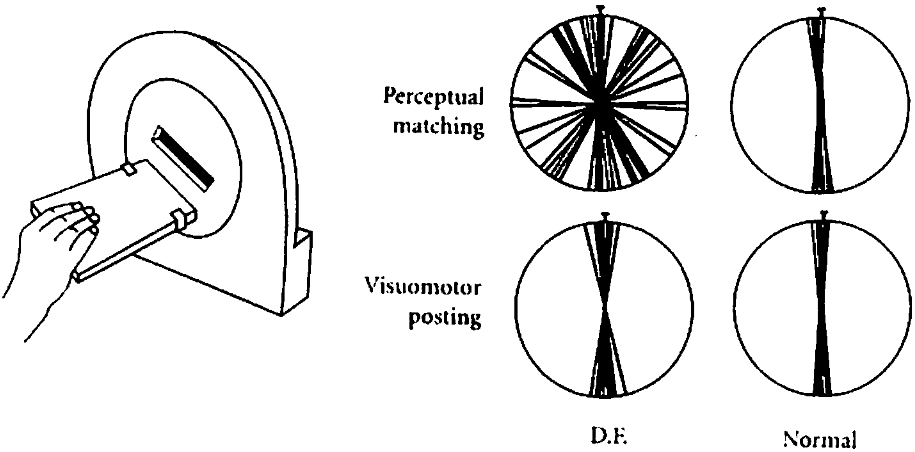
لا تتعرف د. ف. على معظم الأشياء بالنظر، وتتعرف عليها جيدا باللمس. لا تعرف إن كان القلم الرصاص الموضوع أمامها أفقيا أم رأسيا، إن كانت تنظر إلى مربع أم مثلث، ولا تستطيع نسخ رسوم بسيطة (الشكل ١٢-١). لكنها ليست عمياء. ترى الألوان، وتحدد بعض الأشياء بنسيجها المميز أو لونها (على سبيل المثال، موزة صفراء)، وتخطط أشياء من الذاكرة. تتجول د. ف. بنفسها، تجتاز عقبات موضوعة فى طريقها، وتلتقط كرة أو عصا خشبية تلقى لها. تقبض د. ف. على أشياء تُوضع أمامها بقدر كبير من الدقة والثقة، حتى رغم عجزها عن رؤيتها بشكل ما. لا ترى اتجاه شق طولى، ولا تستطيع التحدث عنه، ولا تستطيع أن تدير يدها لتتطابق مع ميله. وحين يكون عليها وضع بطاقة فى شق من على بعد ذراع،

تطيع بسهولة، وتدير يدها لتصحح الاتجاه بمجرد بدء الحركة باتجاه الشق (الشكل ١٢-٢). يمكنها حتى أن تفعل ذلك حين ينطفئ النور بمجرد بدء الفعل. بتعبير آخر، لا تستطيع المريضة استخدام التغذية الرجعية البصرية لتوجيه يدها.



الشكل ١٢-١ رؤية الأشياء ورسمها في العمه البصري: لم تتعرف المريضة د. ف. على المخططين على اليسار وتصرفت بشكل مزرٍ حين حاولت نسخهما (الوسط). لكنها تخطط تفاحة وكتابا مفتوحا من الذاكرة (اليمين). معدل عن .Milner and Goodale, 1995

تقيس د. ف. قبضتها بحجم الأشياء التي عليها التقاطها، رغم عجزها عن معرفة الصغير من الكبير. كلما كان الشيء أكبر، كبرت الفتحة بين الإبهام والأصابع. حين تمد د. ف. يدها لشيء بعد ثانيتين من إبعاده، لا تتسع يداها لتتناسب مع حجمه. لا يجد شخص طبيعي مشكلة في تمثيل هذه الحركة، بما في ذلك ضبط قبضته بشكل صحيح. وهذه ملاحظة مهمة، تبرز نقطة عرضتها أول مرة في القسم ١٢-٢، تتضمن أن الشبكات المسئولة عن حركات د. ف. للوصول إلى هدفها لا تصل الذاكرة العاملة. لماذا ينبغي أن تصل؟ لأنها مهتمة بهنا والآن، تعمل مباشرة بشكل صرف. (٥)



الشكل ١٣ ـ ٢ زومبى يضبط اليد: لم تر د. ف. اتجاه شق طولى أو تطابقه مع اتجاه يد تحمل بطاقة (الصف العلوى؛ مقارنة بشخص سليم فى العمر نفسه). لكنها لم تُعانِ من مشكلة فى وضع البطاقة. أدارت يدها بسرعة إلى الاتجاه الصحيح وغرست البطاقة (الصف السفلى). معدل عن Goodale, 2000.

توضح هذه المريضة الخاصة المصابة بالعمه أن الشكل البصرى ومعلومات الشىء ربما يغيبان عن الوعى ويستمران فى تشكيل السلوك. صاغ ميلنر وجوديل إطارًا من تيارين بصريين إبداعيين فى ضوء نمط د. ف. فى القدرات الضائعة والمتبقية: تيار الرؤية الواعية وتيار ترجمة المعلومات الواردة إلى الشبكية إلى أفعال دون استثارة أحاسيس. وهذا توضيح للتمييز بين "أين" مقابل "ماذا" عند أنجرليدر ومشكين Ungerleider- Mishkin (القسم ٧ ـ ٥). يرى ميلنر وجوديل أن الركيزة العصبية للأفعال الحركية البصرية غير الواعية موضوعة على طول المسار الظهرى، مسار الرؤية للفعل، ويعتمد تحديد الشىء ومهام أخرى تتضمن الوعى البصرى على المسار البطنى، مسار الرؤية للإدراك، وقد أصيب بشدة نتيجة نقص الأكسجين فى د. ف. (الشكل ٧ ـ ٢).

١٣ ـ ٢ عمى البصر

عمى البصر blindsight حالة غير عادية يشير فيها المريض إلى هدف أو يخمن لونه أو اتجاهه بشكل صحيح، وينكر بقوة أى إحساس بصرى. بشكل يختلف عن العمه البصرى، لا يرى المريض شيئًا فى المجال المصاب للرؤية. إنها متلازمة غريبة واجهت الإنكار وصيحات السخرية حين سجلت أول مرة فى الأدبيات. نتيجة جهود البحث المتناغمة لعقود لعلماء علم النفس العصبى لارى ويسكرنتز Weiskrantz وألن كوى Cowey فى جامعة أكسفورد وبيترا ستوريج Stoerig فى جامعة دوسدورف Düssedorf فى ألمانيا، طرح بشكل كاف النقد الأوَّلى. تثبت المتلازمة فى حفنة من الأفراد وجود سلوكيات حركية بصرية محدودة، دون رؤية. ومن هنا جاء الاسم المكون من اجتماع لفظتين متناقضتين، عمى البصر.(٦)

ينتج عمى البصر من تلف فى اللحاء البصرى الأولي. وبالتالى يفشل المريض فى رؤية أى شىء فى نصف المجال المقابل للحاء البصرى الأولي المصاب. إنه أعمى هناك. ومع ذلك، يمكنه أن يشير بشكل غير دقيق فى اتجاه ضوء ساطع: "ليست لدى فكرة عن مكان الهدف، لكنه قد يكون هناك." يمكن للمريض ج. ى. أن يخمن بشكل شبه دائم اتجاه تحرك بقعة من الضوء. إذا كانت الحركة بطيئة جدا أو كان تباين الهدف منخفضًا جدا، يهبط الأداء إلى مستوى الصدفة- يخمن المريض حقا. على العكس، إذا كانت الحركة بارزة بما يكفى، ربما يُسجِّل مدرك شعورى غير واضح المعالم، "يشبه تطويح يدك أمام عينيك وهما مغلقتان"، بتعبير أحد المرضى. يمكن لمرضى آخرين بعمى البصر تمييز صليب من دائرة، وخط عمودى من خط رأسى، أو يمكن أن يخمنوا بشكل صحيح وجود اللون الموجود من بين لونين.

يمكن لبعض المصابين بعمى البصر القبض على الأشياء، حتى رغم عجزهم عن رؤية أشكالها. يتحسن أداؤهم كلما قل الوقت بين المحفز والاستجابة.(٧) أى إنه كلما كانت إشارة المريضة إلى الهدف غير المرئى أسرع، تحسن أداؤها (تذكر أن فرض ثانيتين من التأخير استبعد قدرات د. ف. على ضبط قبضة يدها). تمثيل محفز أضعف من أن يصل إلى الوعى هش فى عمى الرؤية. دون التغذية الرجعية من جهاز الإدراك، لا يتحمل الأداء تأخيرا كبيرا.

من المهم التأكيد على أن مرضى عمى البصر لا يتمتعون بقدرات بصرية عادية دون وعى. لا يوجد دليل على أنهم يستطيعون تتبع هدف من عدة أهداف تتحرك مستقلة، أو معالجة معلومات تتعلق بأشياء عديدة، أو التعرف على صور معقدة. والأكثر أهمية، لأنهم لا يرون، لا يستطيعون استخدام معلومات بصرية للتخطيط. إذا أرغم مريض بعمى البصر على ذلك فربما يخمن بشكل صحيح وجود زجاجة ماء أو عدم وجودها فى مجال العمى، لكنه لن يستخدم هذه المعلومات للتخطيط لعبور صحراء. لا تُستخدَم المعلومات فى مجال العمى بتلقائية متعمدة. الفرق شاسع بين المصابين بعمى البصر وزومبى الفيلسوف.

فى عمى البصر، يفقد النتاج الشبكى السائد- القناة اللحائية الركبية- طرفه فى اللحاء البصرى الأولى. كيف تصل المعلومات البصرية إلى المناطق الحركية؟ يتضمن الطريق الأكثر احتمالا محاور الخلايا العقدية التى تربط الشبكية بالحدبة التوأمية العليا (الشكل ٣ ـ ٦). ومن هناك تتحرك المعلومات خلال مسندية المهاد إلى اللحاء البصرى خارج المنطقة المخططة، متجاهلة اللحاء البصرى الأولي التالف. (٨)

عبَّرْتُ فى الصفحة الأولى من الفصل الثامن عن إيمانى بأن هذا المجرى الجانبى تحت اللحائى إلى التدرج الهرمى البصرى ضعيف جدا (سواء فى القوة أو المدة) بدرجة لا تجعله يطوِّق الخلايا العصبية بطول التيار البطنى مسافة كافية إلى الائتلاف الضرورى الكافى لُمدْرَك. وربما يكفى هذا المسار لإطلاق سلوك ما فى ظروف غير مناسبة (على سبيل المثال، عرض هدف واحد فقط، كما فى كل دراسات عمى البصر تقريبًا). أظن ذلك حين أواجه بمشهد أكثر تعقيدًا، يتداخل تمثيل الأشياء ودون انتباه أستخلص معلومات غير كافية لإطلاق الاستجابة الصحيحة.

ماذا يحدث حين يحاول علماء الأعصاب تقديم قرد أعمى البصر بتدمير اللحاء البصرى الأولي على الجانبين؟ الإجابة المختصرة هى القليل بشكل لافت. بعد العملية بشهور، يصعب العثور على نقص فى هذه الحيوانات. توجه نفسها بوضوح باستخدام الإشارات البصرية، تجد الفول السودانى وتلتقطه وتتجنب العقبات. ويثير هذا سؤالا مهمًا: "هل لهذه الحيوانات خبرة بصرية فى مجال

عماها؟" بالنسبة للكثيرين، يبدو هذا التساؤل غير قابل للإجابة أساسًا. كيف يمكن استنباط شيء عن الجوانب الظاهرية للرؤية في كائن لا يستطيع الحديث أو الكتابة عنها؟

أثبت كوى Cowey وستيريج Stoerig خطأ هؤلاء النقاد.[٩] بعد إزالة اللحاء البصرى الأولي جراحيا فى ناحية من المخ فى ثلاثة قرود آسيوية، دُرِّبت القرود على لمس موضع ضوء يومض بشكل خاطف على شاشة كمبيوتر (**الدفع إلى تحديد الموضع**). وكما هو متوقع، قاموا بهذه المهمة بشكل جيد، سواء ظهر الضوء فى النصف الطبيعى من المجال أم فى النصف الأعمى.

ثم تحول كوى وستيريج إلى اختبار مختلف (**مهمة تحديد الإشارة**). كما هو الحال من قبل، حين عُرِض الضوء، كان على القرود لمس موضعه على الشاشة. كان الجديد غرس محاولة خاوية أحيانا دون ضوء. فى هذه المحاولة الخالية من الهدف، دُرِّبت القرود على ضغط زر معين، مشيرة إلى شاشة خالية. "تحت هذا النظام التدريبى، ضغطت الحيوانات زر "المجال الخالى" إذا سقطت بقعة ساطعة من الضوء فى النصف التالف من المجال، ولم تضغطه والضوء فى المجال المرئى.

بتعبير آخر، حين أرغمت القرود على الإشارة إلى هدف فى النصف الأعمى من المجال، قامت بذلك دون مشكلة، كما هو حال نظائرها من البشر. وحين منحت الفرصة للاستجابة "لا أرى الهدف" ـ وهذا ما كان يشير إليه الزر الخاص ـ فعلت ذلك. ظاهريا، بدا النصف أعمى البصر من مجالهم خاليا.

تجربة كوى ستيريج شهادة دائمة على قوى علم النفس السلوكى على النظر فى عقول الحيوانات.

١٣ ـ ٣ النوبات الصرعية البؤرية المعقدة

فى نوبة الصرع يضطرب النشاط الطبيعى فى الدماغ بشكل ما. وهناك طرق كثيرة لحدوث ذلك. من أشهرها، بسبب تجلياتها الدرامية، النوبات العامة (**النوبات الكبيرة**) التى تبتلع الدماغ كله، مع التشنجات المصاحبة ـ انقباض وارتخاء منتظم فى العضلات ـ وفقدان كامل للوعى.[١٠]

النوبات البؤرية أو الجزئية التى تبدأ فى جزء من الدماغ أو تشمله أكثر أهمية لدارسى الوعى. فى النوبة الصرعية الجزئية البسيطة، لا يضطرب الوعى. ربما تكون الرجفة المتواترة المميزة محدودة فى طرف وقد يحس المريض بطعم أو رائحة أو أحساس غريب. هذه الأعراض، وتسمى هالة، يمكن أن تكون نُذُرًا بأشياء أسوأ قادمة، حين تتحول النوبة البسيطة إلى نوبة معقدة.

تتميز نوبات الصرع الجزئى المعقد بتشويش الوعى أو فقدانه، مصحوبا بحركات آلية، مثل المضغ، أو مص الشفتين، أو حركات متناسقة فى اليدين والذراعين- كأنها تقود أركسترا خيالية ـ الضحك، أو الذعر، اللعب فى الملابس، التفوه ببعض الألفاظ، إلخ. إذا لم يقيد الشخص، فقد يتجول أو "يستيقظ" بعيدًا عن البيت أو المستشفى. عادة، لا يتذكر المريض شيئًا مما يحدث أثناء النوبة. بمجرد انتهاء النوبة، يستغرق بعض المرضى فى نوم إجهاد أو فترة من تشوش الذهن، ويستجيب الآخرون بشكل شبه تام، وكأن المحول قد ألقى به.[11] تحدث النوبات البؤرية المعقدة غالبا فى الفص الصدغى وتستمر بضع دقائق.

ربما تبدو المريضة التى تنتابها إحدى هذه النوبات واعية بسلوكها والانفعالات البادية عليها. وفى هجمة تالية تعود التجليات الحركية ذاتها، وإن تكن غير متماثلة. مرة أخرى تبتسم المريضة وتحاول مغادرة سريرها. تتصرف مثل ممثلة فى بروفة، تكرر المشهد ذاته مرات عديدة، فى كل مرة تبتسم مع إشارة البدء. بعد مشاهدة بعض هؤلاء الأفراد يمكن تمييز الحركات الآلية بسهولة من السلوكيات الواعية بخصائصها غير الطبيعية الاضطرارية المهيمنة.

قد يتفاعل بعض المرضى، على الأقل بشكل محدود، مع بيئتهم أثناء هذه النوبات الوجيزة. قد يرد مريض على بعض الأسئلة الروتينية. يذكر آخر نوبة وهو يقود سيارته إلى العمل. بعد الخروج فى الصباح، قد يجد نفسه عائدا على دراجته إلى البيت فى طريقه المعتاد، كل ذلك أثناء النوبة. ينشغل آخرون فى جولات ليلية.[12] يثير كل هذا سؤالا عما إذا كانت هذه الأفعال الآلية بقايا عوامل زومبية تحيى شخصا غير واع باستثناء ذلك.

يصعب التأكد من مدى فقدان الوعى فعليا أثناء النوبة فى جلسة إكلينيكية. من طرق تقييم وجود شىء باستثناء السلوكيات الزومبية تقييم الذاكرة العاملة أثناء نوبة.(١٣) كما ذكرنا فى الفصلين الحادى عشر والثانى عشر، القدرة على تخزين المعلومات والاستفادة منها على مدى عدة ثوانٍ علامة مميزة للعمليات الشعورية، وهى قدرة لا تتمتع بها الزومبيات.

يبدو من المستساغ أن الأفعال الآلية تحدث حين يدمر التفريغ الكهربى الشاذ الائتلافات التى تشكل الارتباطات العصبية للوعى، والنشاط العصبى المسئول عن السلوكيات الزومبية أكثر قدرة على مقاومة هذا التدخل. يوحى الدليل الإكلينيكى بتحيز لنصف من نصفى الدماغ. النوبات الجزئية الناتجة عن إصابة الفص الصدغى الأيسر أو الفصين احتمال إعاقتها للوعى أكثر مما يحدث فى نوبات الفص الصدغى الأيمن.(١٤)

دراسة الأفعال الآلية بطريقة دقيقة ليست سهلة. تحدث بشكل غير متوقع، وربما يعجز المريض عن القيام ببرنامج حركى تم استيعابه من قبل؛ لأن دماغه غير متعاون. الواضح أن بعض السلوكيات الحركية الحسية الواضحة تماما تبقى دون قدر كبير من الإحساس الشعورى، وربما دون إحساس شعورى.

١٣ ـ ٤ السير أثناء النوم

ماذا بشأن من يسيرون فى نومهم؟ هل تعمل العوامل الزومبية أثناء نشاط السير أثناء النوم، ويتراوح من العادى ـ الجلوس فى السرير وهمهمة غير مفهومة ـ إلى غير المعتاد ـ ارتداء الملابس أو خلعها، الذهاب إلى الحمَّام، ونقل الأثاث ـ إلى الغريب ـ تسلق النافذة أو قيادة سيارة؟ يبدو السائرون نياما غير واعين بشكل مؤكد وهم يتعثرون فى غرف نومهم، ولا يستجيبون عند التحدث إليهم، ولا يتذكرون شيئًا غير عادى فى الصباح التالى.

تستمر نوبات السير أثناء النوم من جزء من دقيقة إلى نصف ساعة. وهى فى الأطفال أكثر شيوعًا من البالغين، وتحدث فى مراحل نوم الحركات غير السريعة للعينين، ولا تترك ذكرى شعورية صريحة عند اليقظة.(١٥)

يعرض السائرون نياما السمات الزومبية المعروفة باستمرار لأى هاو لسينما الرعب - غياب الأحاسيس والمشاعر، العيون اللامعة،(١٦) والقوة الخارقة، والحركات الخرقاء. لنعلم،

> ظهروا، رغم إنهم فى نوبة جنون واستثارة تلقائية شديدة، كالإنسان الآلى غير واعين بما يفعلون وغير مستجيبين لمحفزات البيئة. (١٧)

أحيانًا، يتحول السائرون نياما إلى العنف ويمثلون خطرًا على أنفسهم، ورفاقهم النائمين، والآخرين. انتهى الأمر بالموت فى حالات نادرة. حين تحاكم هذه الحالات، يثار دفاع عن فعل تلقائى لا يتسم بالجنون، مؤسس على حجة أن المدعى عليه لم يكن هو نفسه عند حدوث جريمة القتل. بمعايير الطب الشرعى اليوم المهتم بالنية الواعية، السائر نائما مثل زومبى، شخص بذخيرة سلوكية محدودة وبلا إحساس واعٍ.(١٨)

لا يُعرَف إلا القليل عن مجال السلوكيات التى تظهر فى السير أثناء النوم. فى حاسة البصر، هل يعمل الانتباه المعتمد على البروز؟ ربما. هل يمكن للسائر أثناء النوم أن ينتبه (من أعلى إلى أسفل) إلى الأحداث أو الأشياء؟ ربما لا. هل تؤدى الذاكرة العاملة وظيفتها؟ من غير المحتمل. هل العوامل الحركية الحسية التى تضبط حركات العينين، والوضع، والوصول إلى هدف، وطريقة المشى، نشطة؟ ربما، إلى حد ما.

ما الآليات المرضية المسئولة؟ لأن السير أثناء النوم يحدث فى النوم العميق، ربما يكون المستوى المنخفض من إشارات الإثارة من جذع الدماغ غير كاف لدعم نشاط التغذية الرجعية المستمرة المطلوبة للائتلاف السائد ليتأسس باعتباره ارتباطات عصبية للوعى (أى إن عوامل التمكين التى ناقشناها فى الفصل الخامس لا توجد بشكل كامل)، لكنه كاف للتوسط فى نشاط تغذية الأمامية بشكل مؤقت يكفى لتشغيل العوامل الزومبية. من الصعب الإجابة عن هذه الأسئلة بشكل حاسم قبل استكشاف طريقة يمكن التعويل عليها لإحداث السير أثناء النوم فى المتطوعين من البشر، أو القرود أو الفئران.

١٣ ـ ٥ العوامل الزومبية

والارتباطات العصبية للوعى

الآن وقد عرفتَ أن هناك جيشا من العوامل الزومبية غير الواعية فى رأسك، كيف يساعد هذا فى السعى لفهم الارتباطات العصبية للوعى؟

أولا، يضع حدا لفكرة أن التعقيد الحسابى لمهمة حركية حسية يمكن أن يفصل الأفعال غير الواعية من الأفعال الواعية بأسلوب مباشر. تتوسط العوامل الزومبية البرامج الحركية غير البديهية، وليس الأفعال الانعكاسية فقط. تخيلْ، على سبيل المثال، شبكة عمليات ضرورية لتقييم الأنماط البصرية المتدفقة المرتطمة بالعينين، متحدة بالمعلومات الواردة من حاسة دهليزية vestibular، وتعديل الجهاز العضلى الهيكلى بشكل مناسب للاحتفاظ بوضع منتصب. بقدر ما تحدث هذه الإجراءات باستمرار، يمكن تعلمها (القسم ١١ ـ ٢) باللحاء متواطئًا مع العقد القاعدية. على أى تمييز بين العمليات غير الواعية والواعية وضع هذا البعد التعليمى فى الاعتبار، وهو شىء أطوره بشكل أكثر اكتمالا فى الفصل التالى.

ثانيا، ماذا عن المسارات المسئولة عن الأفعال الزومبية؟ أحد الاحتمالات أنها قد تكون متميزة فيزيائيا ومنفصلة عن الشبكات التى تولِّد الارتباطات العصبية للوعى. أى إن النشاط العصبى فى بعض مناطق الدماغ يتوسط السلوك بلا وعى ويكفى النشاط فى مواضع أخرى للأحاسيس. يبرهن ميلنر وجوديل بقوة على أن المسار الظهرى يقوم بالرؤية للفعل والمسار البطنى مسئول عن الرؤية للإدراك. ثمة احتمال آخر وهو أن الشبكة نفسها تعمل بأسلوبين متميزين. أسلوب يعتمد على موجة شبكية مؤقتة تنشأ فى الأطراف الحسية (على سبيل المثال، فى الشبكية) وتنتقل بسرعة خلال مراحل المعالجة اللحائية المتنوعة حتى تطلق استجابة نمطية غير واعية. هذه الموجة الشبكية المتنقلة سريعة الزوال جدا ولا تترك تأجُّجًا مرتفعا فى أثرها. وربما يكون هذا الأسلوب الزومبى للفعل الذى يعمل به الدماغ هو أساس أسلوب تغذية أمامية، دون تغذية رجعية نشطة بشكل دال (الجدول ٥ ـ ١).

إذا كانت المعلومات الواردة أكثر استمرارية وعززها الانتباه من أعلى إلى أسفل، من ناحية أخرى، يمكن توليد نوع من الموجات الثابتة أو الصدى فى الشبكة، مع مساهمة حيوية من مسارات التغذية الرجعية. تستطيع تغذية رجعية موضعية وأكثر عمومية أن تجعل الخلايا العصبية تزامن نشاطها الشوكى فوق درجة التزامن الناشئة عن المعلومات الحسية فى ذاتها ووراء هذه الدرجة. مما يزيد قوتها بعد المشبكية مقارنة بما يحدث حين تتأجج مستقلة. يمكن أن يتجمع ائتلاف قوى بهذه الطريقة، قادرا على مد تأثيره إلى مراكز مهمة بعيدة من اللحاء وتحته. ويمكن أن يكون هذا هو الأسلوب البطىء المسئول عن الإدراك الواعى.

يمكن لهذه الأفكار، رغم أنها لا تزال فى البداية، أن توجه فحوصًا أكثر تفصيلا. وإذا وضعنا فى الاعتبار الطبيعة المتنوعة إلى حد بعيد والمدى الزمنى للعيوب العصبية التى نوقشت هنا والقيود الخلقية على التجارب البشرية، فمن المطلوب أن تركز هذه الفحوص على نماذج مناسبة من الحيوانات. إن دراسة المرضى أساسية لتمييز تام لظواهر العيوب فى علاقتها بالوعى. لكن الكشف عن الدوائر العصبية المسئولة يتطلب تدخلا يستهدف بشكل انتقائى مكونات خلوية مميزة فى مجالات واسعة من الدماغ، وهذا ما لا يمكن عمله فى البشر.

١٣ ـ ٦ اختبار تورنج للوعى؟

فى ١٩٥٠، نشر عالم الرياضيات ألن تورنج[١٩] بحثًا اهتم فيه بمسألة "هل يمكن للآلة أن تفكر؟" فى إطار **لعبة التقليد**. يعرف الآن باسم **اختبار تورنج**، ويتضمن القيام بمحادثة ممتدة مع كيان، بلغة طبيعية مطبوعة، فى مجموعة متنوعة من مواضيع عشوائية، من العادى إلى السرى. إذا عجزت المشاهِدة، بعد برهة، عن تقرير إن كان هذا الكيان الذى تتفاعل معه آلة أو إنسان، لا بد أن يعتقد أنها ذكية.[٢٠] يقدم اختبار تورنج وسيلة عملية لرمز تحدى التقدم فى تصميم الآلات الذكية. ويتطلب الأمر وسيلة إجرائية مماثلة لتمييز السلوكيات الزومبية التلقائية من السلوكيات التى تتطلب وعيا.

مما له أهمية هائلة الدليل من الطبيعيين،ومن د. ف.، ومرضى عمى البصر على أن التأخير لأكثر من بضع ثوانٍ يستبعد فعليا الكثير من سلوكياتهم الزومبية.

فى الفصل الحادى عشر، خمنْتُ أن الأفعال المعقدة التى تتطلب الاحتفاظ بالمعلومات لأكثر من ثوانٍ، مثل الارتباط الشرطى بالأثر أو الذاكرة العاملة، ربما تكون اختبارات أساسيةً أخرى. بشكل مشترك، ربما تميز هذه المجموعة من العمليات السلوكيات التلقائية من السلوكيات الواعية.

تأمل روتينك الحركى الحسى فى بعض الأنواع وافرض بضع ثوانى انتظار بين المعلومات الحسية الواردة وتنفيذ فعل. إذا لم يستطع الكائن القيام بالمهمة مع التأخير، يحتمل أن يتوسط فيها عامل زومبى. إذا تأثر أداء الكائن هامشيا فقط بالتأخير، فينبغى إذن تخزين المعلومات الواردة فى حاجز وسيط قصير المدى، متضمنا مقياسًا للوعى. وإذا كان من الممكن تشتيت الكائن بنجاح أثناء هذه الفترة بمحفز بارز بشكل مناسب (على سبيل المثال، أضواء وامضة)، فقد يدفع ذلك إلى استنتاج أن الانتباه متضمن فى الحفاظ على المعلومات بشكل نشط أثناء فترة التأخير.

تجتاز الكلاب، ربما مثل كل الثدييات، هذا الاختبار بسهولة. فكر فى إخفاء عظمة بعيدًا عن الأنظار وعلم كلبا أن يجلس ساكنا حتى تقول له "هيا استخرج العظمة."

لا يعنى هذا أنه اختبار معصوم، لكنه جيد بما يكفى لأن يكون عمليا ومفيدا إكلينيكيا أو فى المختبر. بالطبع، مثل هذه الاختبارات لا ترتبط بفحص مسائل وعى الآلة، حيث إن أجهزة الكمبيوتر، والروبوت، والمنتجات الأخرى التى من صنع الإنسان مقيدة بقوى تختلف جذريا عن الكائنات البيولوجية.

١٣ ـ ٧ الملخص

فى هذا الفصل، فحصتُ الأمراض التى تقدم لمحات مثيرة على ما يمكن أن يفعله الإنسان دون وعى.

فى العمه البصرى، يفقد المرضى وجها خاصا أو أكثر من الإدراك البصرى (اللون، الحركة، الوجوه، الشكل). المريضة د. ف. مثال توضيحى. لا تستطيع تحديد الأشياء أو التعرف على مظهرها أو شكلها. لكنها تحتفظ بتفاعل بصرى لافت: يمكنها وضع يدها فى شق باتجاهات متنوعة، ومسك الأشياء بشكل صحيح، والتجول دون أن تتعثر فى طريقها. المرضى بعمى البصر عمىً فى جزء

من مجال رؤيتهم، لكنهم يستطيعون، تحت ضغط، الإشارة إلى ضوء ساطع، وتحريك عيونهم باتجاهه، وتخمين لون محفز خفى، إلخ.

تتوقف بعض هذه السلوكيات إذا حدث تأخير لعدة ثوانٍ بين ظهور المحفِّز والفعل، مما يوحى بأن هؤلاء المرضى يفتقرون إلى الوسائل الضرورية لتخزين المعلومات لأكثر من بضع ثوانٍ. يشكل اختبار التأخير المفترض هنا وسيلة عملية لتمييز العوامل الزومبية تجريبيا من الأجهزة الواعية فى الحيوانات أو الرضع أو المرضى المعاقين بشدة.

يظهر بعض مرضى النوبات الصرعية البؤرية المعقدة أو من يسيرون أثناء النوم أنماطًا حركية متعلِّمة بوضوح تام؛ يتجولون، أو يحركون الأثاث، أو يقودون سيارة. ولا يستجيبون عادة للأوامر اللفظية ولا يتذكرون ما يحدث أثناء النوبات. تتبع هذه الأفعال الآلية برنامجًا داخليا قد تؤثر فيه البيئة بشكل محدود.

ما المسئول عن التمييز بين السلوكيات التلقائية وتلك التى تعتمد على الوعى؟ الأبسط، على مستوى التصور، احتمال أن شبكات مميزة تتوسط الأفعال الزومبية والأفعال الواعية. ربما تعيش العوامل الزومبية خارج اللحاء الحقيقى كما تعيش فى التيار الظهرى، ويتوسط المسارُ البطنى الإدراك البصرى الواعى. مثل زوجين متزوجين منذ فترة طويلة، لكل منهما رذائله وفضائله، لكنهما يحاولان التصرف معا بتناغم.

بشكل بديل، ربما تعمل الشبكة ذاتها بأسلوبين. تتدفع موجة شبكية مؤقتة من الأطراف الحسية عبر التدرج اللحائى إلى مراحل الإنتاج. ويحدث هذا بسرعة شديدة بحيث لا تساهم كل خلية عصبية إلا ببضع شوكات، ولا تخلِّف نشاطًا يبقى وقتًا طويلا فى أعقاب الموجة الشبكية. وهذا يكفى لبدء الأفعال النمطية دون أن يصاحبها إحساس. إذا استمرت المعلومات الواردة أو تعززت بميول الانتباه من أعلى إلى أسفل، من ناحية أخرى، فإنها تشكل نشاطًا ارتداديا يستمر وقتًا طويلا ويكون قويا بما يكفى لتوليد ائتلافات كافية لإدراك واعٍ.

إذا كانت الزومبيات مدهشة بهذه الدرجة، ما وظيفة الوعى؟ لماذا ننشغل بالوعى أصلا؟ فى تناول هذه الأسئلة فيما بعد، ينبغى أن أتشبث بمفهومين أساسيين لمشكلة العقل والجسد ـ الكوليا qualia والمعنى.

الهوامش:

(١) العلم المرح The Gay Science: كتاب لنيتشه (١٨٤٤-١٩٩٠) نشرت طبعته الأولى عام ١٨٨٢ (المترجم).

(٢) عمى الروح seelenblindheit، أو عمى العقل: بالألمانية فى الأصل (المترجم).

(٣) يراجع الأدبيات الإكلينيكية عن العمه Damasio, Tranel and Rizzo, Farah, 1990 . 2000 Bauer and Demery, 2003 والبحث الشامل Grüsser and Landis, 1991

(٤) التقرير الأصلى عن الحالة فى Milner et al., 1991. انظر دراسة Milner and Goodale, 1995، ودراسة Goodale and Milner, 2004 للاطلاع على التفاصيل. يؤكد تصوير الدماغ أن التلف أصاب المسار البطنى لدى د. ف. أكثر مما أصاب مسارها الظهرى.

(٥) توصف هذه المعالجات المتأخرة وتأثيرها فى الوصول إلى الهدف فى د. ف. وفى أشخاص طبيعيين فى Goodale, Jakobson, and Keillor, 1994 (انظر أيضًا Bridgeman, Peery and Anand, 1997). وصف Hu and Goodale, 2000 حسابات مختلفة مسئولة عن القبض على الأشياء بشكل مباشر وبشكل تمثيلى فى الأصحاء.

(٦) اعتمد التقرير الأصلى على مرضى بعيوب فى المجال البصرى يمكنهم تحديد المحفزات فى مجالهم الأعمى بالإشارات إليها وينكرون رؤيتها Pöppel, Held and Frost, 1973 يمثل البحث الشامل Weiskrantz, 1997 أحدث مرجع، ويقدم Cowey and Stoerig, 1991: Weiskrantz, 1996 ملخصات دقيقة. يقدم Heywood and Weiskrantz, 1997 : Wessinger, Fendrich and Gazzaniga, 1997 : and Zeki, (1995) مذاق الخلاف المستمر المحيط بمرضى عمى البصر.

(٧) Perenin and Rossetti, 1996: Rossetti, 1998: Cowey (اتصال شخصى).

(٨) ثمة احتمال آخر وهو امتدادات صغيرة من النواة الركبية الجانبية إلى المنطقة البصرية الثانية أو مناطق لحائية عليا.

(٩) Cowey and Stoerig, 1995. تابع Stoerig, Zontanou and Cowey, 2002 تجربتهم الواعدة على الحيوانات بمقارنة أحد هذه القرود بأربعة مرضى بعيوب فى المجال على جانب واحد. وأيد هذا مقاربتهم، بمعنى أن القرد والناس استجابوا بطريقة مماثلة،

وهو بمثابة مذكِّر قوى بأن تشريح الأعصاب وسيكولوجيا الرؤية متماثلان فى النوعين.

(١٠) يمكن تعريف نوبة الصرع بأنها نوبة من التفريغ العصبى المتزامن جدا والمستمر ذاتيا. تتأجج الخلايا العصبية المصابة بطريقة مرتفعة ومتزامنة جدا، بدلا من التأجج بطريقتها العادية المفككة والمتناثرة.

(١١) أوصى بقراءة Fried, 1997 أو Elger, 2000 للاطلاع على مقدمة للنوبات الجزئية المعقدة، Penfield and Jasper, 1954 أطروحة كلاسيكية عن الموضوع، وبحث Oxbury, Polkey and Duchowny, 2000 للاطلاع على تغطية شاملة. للاطلاع على بحثين عميقين عن فقد الوعى أثناء نوبات الصرع، انظر Gloor, Olivier and Ives, 1980؛ Gloor, 1986. يدهشنى التنوع الهائل فى النوبات (النوبات البسيطة والمعقدة، نوبات الغياب ، النوبات الرمعية العضلية myoclonic، والنوبات التوترية الرمعية العامة). يختلف منشؤها، وانتشارها التالى إلى مناطق أخرى فى الدماغ، بشدة أيضًا، مثلما تختلف المدة والأعراض، والهالات المصاحبة. أشير هنا أساسًا إلى النوبات البؤرية فى الفصوص الصدغية فى البالغين. من المواضيع الأخرى الفاتنة نوبات الغياب أو النوبات الصغرى. فترات وجيزة من يقظة بلا وعى. أكثر شيوعًا فى الأطفال، تعيق نوبات الغياب فجأة النشاط الذهنى والجسدى الجارى لبضع ثوانٍ، أثناءها يحدق الطفل ساكنا فى الفضاء، قبل أن يعود فجأة إلى أرض الواقع. تتضمن نوبات الغياب جيلا من التفريغ المتذبذب غير الطبيعى فى الدوائر اللحائية المهادية (Crunelli and Leresche, 2002). يمكن أن تحدث بشكل متكرر، لا تتوافق مع النشاط العضلى، ويمكن دراستها بشكل مفيد بالتصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى المرتبط بحدث.

(١٢) Pedley and Guilleminault, 1977.

(١٣) افترض، على سبيل المثال، أن المريض يسمع نغمة منخفضة أو مرتفعة أثناء النوبة. بعد بضع ثوانٍ، تُقدم النغمة ذاتها أو نغمة مختلفة ويكون على المريض أن يشير بيده أو ذراعه أو رأسه إلى الأرض إذا كانت النغمتان متشابهتين ويشير باتجاه السماء إذا كانتا مختلفتين. للقيام بهذه التجربة، على المريض تذكر تعليمات المهمة أثناء النوبة، يكون لديه على الأقل درجة محدودة من التحكم فى أطرافه، ويكون قادرا على سماع النغمات (M. Kurthen, T. Grunwald and C . Koch. اتصال شخصى).

(١٤) Ebner et al., 1995؛ Inoue and Mihara, 1998؛ Lux et al., 2002. النصف الأيسر من الدماغ سائد عادة بالنسبة للغة (الفصل ١٧)، مما يشجع تأمل العلاقة بين فقدان الوعى بالقياس الإكلينيكى والحبسة الكلامية. فى حالة على الأقل C. Elger، اتصال شخصى)، فقدت الاستجابة بعد نوبة بؤرية فى الفص الصدغى الأيسر فى مريض حيث كان

النصف الأيمن من الدماغ سائدا بالنسبة للغة (مقيم باختبار وادا Wada). وهكذا يتجاوز الارتباطُ بين غياب السلوك وغياب الوعى والفص الصدغى الأيسر اللغةَ. تبقى البنى الصغيرة فى الدماغ التى ينبغى غمرها بالتفريغ الصرعى ليفقد الوعى مجهولة (Reves, ١٩٨٥).

(١٥) يتميز السائرون نياما بنوم عميق، وصعوبة الإيقاظ، وضعف القدرة على تذكر الأحلام. للاطلاع على مراجعة للسير أثناء النوم، انظر Masand, Kavey et La., 1990 Vgont-zas and Kales, 1999. Popli and Weilburg. 1995. تُناقَش العلاقةُ المحتملة مع الوعى فى Revonsuo et al., 2000.

(١٦) شىء عرفه شكسبير منذ وقت طويل. فى الفصل الخامس، المشهد الأول من "ماكبث" يلاحظ الطبيب أن ليدى ماكبث تتجول. يقول "ترى، عيناها مفتوحتان"، فترد الليدى المنتظرة "آه، لكن إحساسهما مغلق." انظر أيضًا .Jacobson et al., 1965

(١٧) صفحة ٧٢٨ فى Moldofsky et al., 1995.

(١٨) للاطلاع على مناقشة عميقة لحالة من حالات السير أثناء النوم نتج عنها تشويه وموت، والنتائج القانونية المترتبة عليها، انظر Broughton et al., 1965 تناقش أمثلة أخرى فى Moldofsky et al., 1995: Schenck and Mahowald, 1998.

(١٩) ألن تورنج Turing (١٩١٢ ـ ١٩٥٤) : عالم رياضيات إنجليزى (المترجم).

(٢٠) يجدر قراءة البحث الأصلى لبساطته وروعته (Turing, 1950). يقدم Millican and Clark, 1999 المنظور التاريخى والوضع الحالى لاختبار تورنج.

الفصل الرابع عشر

تأملات فى وظائف الوعى

مقدمة لعلم النفس: نظرية السلوك الإنسانى... هل هناك انقسام
بين العقل والجسد، وإذا كان هناك، من منهما الأفضل؟...
تمنح اهتمامات خاصة لدراسة الوعى مقابل اللاوعى، مع كثير
من التلميحات المهمة عن الكيفية التى نبقى بها واعين.

وودى ألن من "Getting Even"[١]

لماذا نهتم بالوعى أصلا؟ تناول الفصلان الأخيران العوامل الحركية الحسية فى الأصحاء وفى المصابين بتلف فى الدماغ. أكدتُ على الأسلوب السريع غير المتدفق الخالى من العيوب الذى ينفذون به السلوكيات النمطية المتعلمة. يثير وجود هذه العوامل أسئلة مزعجة. إذا كان قدر كبير من المعالجة يحدث فى الظلام، دون إحساس، لماذا نحتاج إلى الحياة الذهنية الواعية أصلا؟ ما المزايا التطورية للأدمغة الواعية على الأدمغة التى ليست سوى حِزَم كبيرة من العوامل الزومبية؟

الوعى خاصية لأنواع خاصة من الأعضاء المتطورة بيولوجيًا إلى حد بعيد.[٢] وهكذا من المحتمل تماما أن تخدم الخبرة الظاهرة غرضا. فى العالم المتنافس بقوة، على الوعى أن يمد الكائن بحافة على الزومبيات غير الواعية.

فى العقدين الأخيرين، كتب الروائيون والفلاسفة والعلماء والمهندسون بإسهاب

عن وظيفة الوعى. تتبنى معظم هذه التأملات موقفا حسابيا، محددة هدفا أو عدة أهداف لمعالجة المعلومات باعتبارها حاسمة للوعى ومن أجله.

قائمة الوظائف المزعومة ضخمة، وتشمل:

تشجيع الوصول إلى ذاكرة قصيرة المدى،

تصنيف الإدراك،

صناعة القرار،

تخطيط الأفعال والتحكم فيها،

التحفيز،

البدء فى أهداف طويلة المدى،

تعلم الأغراض المعقدة،

تحديد التضارب والشذوذ فى العالم والجسد،

وصف اللحظة الحالية،

القيام بانتقاء الانتباه من أعلى إلى أسفل،

الإبداع،

تشكيل أوجه التشابه،

فحص الذات،

صناعة نماذج تكرارية،

العمل مع وظائف لا يمكن حسابها،

استنباط حالة الحيوانات الأخرى أو الناس،

استخدام اللغة.

لأن بعض أكثر أجهزة الكمبيوتر تطورا تتأسس على المعمار المتوازى للكومبيوتر، يعتقد رائد الذكاء الاصطناعى مرفين مينسكى[٢] أن الوعى ينبثق من تفاعلات معقدة لعدد كبير من العوامل التلقائية ذات العقول البسيطة تماماً. يرى

عالم المعرفة جونسون ليرد[٤] أن الوعى نظام تشغيل ينظم كمبيوتر متدرجا هرميا لكنه متواز ومصنوع من وحدات فردية عديدة. يستدعى بعض الأعمال الروتينية وينشط أخرى، لكنه أيضًا قوى بما يكفى لتوليد نموذج فى حد ذاته، مما يؤدى إلى وعى ذاتى. عموما، هذا بالضبط تجمع متنوع لوظائف مفترضة، رغم أن بعضها قد يكون ملائما أكثر من غيره فى تفسير وظائف الوعى المتطور.[٥]

كلمة تحذير: حتى هذه النقطة بقى الكتاب، عمومًا، قريبا من الحقائق، مركزا على الأعمال ذات الصلة فى علم النفس وعلوم الدماغ. يختلف هذا الفصل حيث أشرك القارئ فى تأملاتى أنا وفرنسيس بشأن وظائف الوعى والكوليا. ربما المختلف عن الكثير من الفرضيات الواردة فى الفقرة السابقة أن منظورنا يؤدى إلى تنبؤات خاصة يمكن إثباتها إمبريقيا. إذا كنت لا تحب مثل هذه التأملات، اقفز مباشرة إلى القسم ١٤-٧.

١٤ ـ ١ الوعى ملخصاً تنفيذياً

فى عملنا الأول المنشور عن الوعى، شعرتُ أنا وفرنسيس أن من السابق لأوانه تأمل هدفه دون فهم أفضل لكيف وأين يعمل فى الدماغ. أعدنا النظر فى هذا الوضع بعد بضع سنوات وصغنا رؤيتنا لوظائفه على النحو التالى:

> ... تتأسس فرضيتنا على فكرة عامة عن الأهمية البيولوجية للوعى البصرى (أو، بالتحديد، ارتباطاته العصبية). وذلك لوضع أفضل تفسير حالى للمشهد البصرى، فى ضوء الخبرة السابقة، سواء خبرتنا أو خبرة أسلافنا (مجسدة فى جيناتنا)، ولجعلها متاحة، وقتًا كافيًا، لأجزاء من الدماغ تتأمل وتخطط وتنفذ النتاج الحركى الإرادى (من نوع أو آخر).[٦]

يعانى الجهاز العصبى المركزى، مثل كثيرين جدا فى عالمنا المعاصر المترابط بصورة مفرطة، من عبء زائد من المعلومات. وهكذا يتدفق قدر هائل من البيانات عن البيئة دائمة التغير عبر المسارات الحسية بحيث يعجز الدماغ عن معالجتها

كلها فى زمن حقيقى. تذكرْ من الفصل الثالث أن ملايين البيتات من المعلومات تنقل عبر العصب البصرى فى كل ثانية. يتحرك جسمك باستمرار ويعدّل وضعه، مرسلا شوكات إلى الدماغ الذى يشفّر زوايا المفاصل، وتمدد العضلات، إلخ. إنك مطمور فى سحب من جزيئات الروائح التى تطفو حولك وتتفاعل مع المخاط فى أنفك. ترتطم باستمرار سيمفونية من الأصوات فى أذنيك. من هذا العراك من الأحداث الحسية لا تتحول إلا بضعة أحداث مفضلة إلى أحاسيس ظاهرة، بينما يُرمَى الباقى فى ليمبو limbo تجريبى.

اتبع الانتقاء الطبيعى استراتيجية تسعى إلى تلخيص معظم الحقائق وثيقة الصلة بالعالم الخارجى بدمجها وإرسال وصفها إلى مراحل التخطيط لتأمل السياق الأفضل لتصرف الكائن. مثل هذا التلخيص يعنى حتما ضياع معلومات. فى بيئة ديناميكية مأهولة بالنهابين يفضل عادة الوصول إلى استنتاج بسرعة والتصرف، بدلا من استغراق وقت طويل جدا لا يمكن من العثور على أفضل الحلول. فى عالم يحكمه البقاء للأصلح، يمكن أن يكون العدو الطيب أفضل.

تُرسَل بعد ذلك هذه البنود القليلة، الموصوفة مع الكوليا، إلى مراحل التخطيط فى الدماغ للمساعدة على اتخاذ قرار فى السياق المستقبلى لفعل. على سبيل المثال، يمكن أن ترى كلبا، يكشف عن أنيابه ويعوى، وبابًا مفتوحًا إلى يمينك. فى تلك اللحظة، يكون كل ما عدا ذلك غير ذى صلة.

ترتبط هذه الوظيفة من وظائف الوعى باستراتيجية يتبناها كثير من قادة النظم الكبرى، بالتحديد، "أريد ملخصًا دقيقًا لكل الحقائق ذات الصلة وأريدها الآن." اشتهر الرئيس الأمريكى السابق رونالد ريجان بإلحاحه على مساعديه باختصار أى موضوع عليه النظر فيه، من الإصلاح الضريبى إلى استراتيجية الدفاع الصاروخى، فى صفحة واحدة. يستخدم هذا الملخص التنفيذى بعد ذلك لوضع توصيات سياسية نهائية. يمكن الحصول على المعلومات الأساسية أكثر من غيرها إلى حد كبير عن كل موضوع بواسطة المساعدين أو بالوصول إلى قاعدة البيانات، لكن كثيرا ما تدفع ضغوط الوقت إلى اتخاذ قرار بناء على هذه المجموعة الضئيلة من الآراء أو الحقائق وخبرة المدير التنفيذى.

نرى وضعا مماثلا ينطبق على الدماغ. يُعرَض تمثيل وحيد مدمج لما فى الخارج، لوقت كافٍ، على أجزاء الدماغ التى يمكنها الاختيار بين خطط مختلفة للفعل. هذا ما يدور حوله الإدراك الواعى. حيث لا تمثل إلا بضعة بنود بهذه الطريقة، يمكن التعامل مع المعلومات بسرعة.

ربما يكتمل الغرض، أو الأغراض، الذى ينبثق من أجله الوعى أصلا فى سياق التطور أو تحل محله وظائف أخرى أثناء ذلك. لا شك فى أهمية الوعى للغة، وللتفكير الفنى والرياضى والعلمى،[٧] ولتوصيل المعلومات عن أنفسنا إلى الآخرين. إضافة إلى ذلك، بمجرد الوصول إلى المعلومات بوعى، يمكن استخدامها للاعتراض وقمع السلوكيات الزومبية، أو الأفعال، أو الذكريات غير الملائمة للوضع الحالى.[٨] وحيث إن ميلاد الكائنات الواعية ربما يسبق وصول الإنسان الحديث بملايين السنين،[٩] لا يمكن أن تكون هذه الأوجه العالية من الوعى ـ المقصورة على أشباه الإنسان ـ العامل الحاسم الذى يميز تطور الأنماط الظاهرية الواعية عن الزومبيات.

كل الحيوانات التى تتمتع بآلاف أو أكثر من مستقبلات البصر أو اللمس أو السمع أو الشم يواجهها الهجوم ذاته من المعلومات الحسية وتستفيد من ملخص تنفيذى يمكنها من تخطيط ما عليها فعله بعد ذلك.

لا يتضمن كلامى أن التخطيط أو صناعة القرار بالضرورة، فى ذاته، أنشطة ذهنية واعية. توحى أدلة هائلة بشىء مختلف. ما أفترضه أن الوعى يحدث فى السطح البينى بين المعالجة الحسية والتخطيط.

تأمل كل هذه التأملات فى وظيفة الوعى بقدر هائل من التركيز. المهم مدى ما تكشفه هذه التأملات بشأن الارتباطات العصبية للوعى. أعود لهذا الموضوع فى القسم ١٤-٧.

١٤ ـ ٢ الوعى وتدريب العوامل الحركية الحسية

تتسق فرضيتنا تماما مع وجود قدر كبير من السلوكيات الحركية الحسية النمطية تتخطى الوعى. ولا يمكن لمجموعة من المختصين التعامل بسهولة مع

أوضاع جديدة أو مدهشة. هنا يدخل الوعى؛ لأن الارتباطات العصبية للوعى تناظر نوعًا من الوعى المستمر يمتد انتقائيا على نطاق واسع خلال مقدم الدماغ، وتصبح كميات كبيرة من الذخائر الحسابية والذاكرة متاحة بمجرد تسجيل حدث بوعى. إضافة إلى ذلك، تستعد الأجهزة الحركية لتنظيم الفعل المرغوب. وهكذا يمكن تعامل الوعى مع مهام واقعية كثيرة نواجهها فى الحياة اليومية مع متطلباتها المتصارعة غالبا (مثل توجهك بسرعة فى حى غير مألوف لك).

لكن الثمن المدفوع مقابل هذا يستغرق عدة مئات ملى ثانية ليثير حدث حسى الوعى- يمكن أن يشكل كسر من الثانية الفرق بين الحياة والموت فى الصراع من أجل البقاء.

لحسن الحظ، إذا وضعنا فى الاعتبار القدرة المدهشة للأدمغة على التعلم، يمكن تدريب عامل زومبى للقيام بأنشطة تتطلب الوعى عادة. أى يمكن دمج سلسلة أفعال حركية حسية معًا فى برامج حركية متقنة بالتكرار المستمر. يحدث هذا عند تعلم قيادة دراجة، أو الإبحار بقارب، أو الرقص على موسيقى الروك أند رول، أو تسلق جدار منحدر، أو عزف على آلة موسيقية. أثناء مرحلة التعلم، تنتبه بشكل رائع لطريقة وضع يديك وأصابعك وقدميك وتحريكها، وأنت تتبع بدقة تعليمات معلمك، واضعًا البيئة فى الاعتبار، إلخ. بممارسة كافية تصبح هذه المهارات عفوية، حركة جسمك مرنة وسريعة، دون جهد ضائع. تقوم بالفعل متجاوزا الأنا، متجاوزا الوعى، دون تفكير فيما عليك فعله بعد ذلك. يأتى بشكل طبيعى.(١٠)

فى هذه المرحلة، بشكل متناقض، كثيرا ما يعوق الوعى التنفيذ السلس والسريع للمهمة. إذا امتدحت منافسك فى التنس على ضربته الخلفية الرائعة، فإن انتباهه التالى لصده الكرة قد يجعل أداءه ينخفض فى صد بضع كرات تالية. يحدث شىء مماثل وأنت تعزف مقطوعة موسيقية تعزفها كثيرا لكنك لم تعزفها لفترة. من الأفضل أن تترك "الأصابع تقوم بالعزف"، لأن التفكير فى الموتيفات الفردية وتتابع النغمات قد يجعلك تخطئ.

ربما يقضى لاعب بيسبول ساعة بعد ساعة فى التدريب، محسنًا التوافق بين عينيه ويديه، حتى يصبح التقاط الكرة وإلقاؤها إلى أول هدف "عفويا"، يشكل

بنشاطٍ عاملا زومبيا. تتورط فى البداية دوائر فى اللحاء الجدارى الخلفى واللحاء المتوسط لمقدم الفص الجبهى، بالاتحاد مع العقد القاعدية والمخيخ. بمجرد اكتمال التدريب، يفقد لحاء مقدم الفص الجبهى أهميته؛ لأن الجسم المخطط وبنى العقد القاعدية الأخرى تأخذ على عاتقها القيام بالسلوك الروتينى الهادف. وينسق هذا تفاعلَ العضلات، محسنًا الأداء ومتجنبا التأخير المتأصل فى الاعتماد على نتاج الوعى، مرحلة التخطيط. وهذا سبب تدريب الرياضيين والمحاربين والفنانين مرارا وتكرارا على المواقف التى يشكل فيها كسر من الثانية فرقا بين الانتصار والهزيمة.

التقط كتيبا فى التدريب على أية رياضة لتقرأ كلمات عن هذا التأثير. ثمة مثال مدهش فى رياضة من رياضات أدب التأمل، كتاب يوجين هريجيل[١١] **"زن فى فن الرماية"**. قرب نهاية هذا المجلد الصغير، يفسر هريجيل كيفية تحقيق التفوق فى فن المبارزة بالسيف:

> ينبغى على التلميذ تطوير حاسة جديدة، أو، بشكل أكثر دقة، يقظة جديدة لكل حواسه، تمكنه من تجنب الطعنات الخطيرة كما لو أنه يستطيع الشعور بها قادمة. بمجرد إتقان فن المراوغة، لم يعد يحتاج إلى الانتباه التام لحركات خصمه، أو حتى عدة خصوم فى وقت واحد. بالأحرى، يرى ويشعر بما على وشك الحدوث، وفى تلك اللحظة ذاتها يتجنب بالفعل تأثيره دون أن يكون هناك "سمك شعرة" بين الاستقبال والتجنب. هذا إذن هو ما يهم: تفاعل ساطع لم يعد يحتاج إلى ملاحظة واعية. بهذا على الأقل يستقل التلميذ عن كل غرض واع. وهذا مكسب كبير.

يسعد البشر بهذه الإنجازات ويمجدونه. تذكَّرْ أن هذا المستوى من البراعة مفيد فقط فى سياق ضيق (باستثناء قلة محظوظة فى قمة المهارة يعيشون من استغلال مثل هذه المواقف). مما يجعل آلية الغرض الأكثر عمومية للتعامل مع المواقف الجديدة أو التى تندر مواجهتها مطلوبة، وتقدم مدخلا للتخطيط، والتفكير البارع، وصناعة القرار. فعلها أكثر مرونة لكنه، لسوء الحظ، أكثر بطأ أيضًا.

١٤ ـ ٣ لماذا لا يكون الدماغ مجرد حزمة من العوامل الزومبية؟

إذا كانت هذه العوامل الحركية الحسية، أو المباشرة سريعة جدا وفعالة، لماذا لا نستغنى عن الوعى تماماً؟ ربما يخرج الكائن مباشرة فى المسار الطويل إذا حلت محل مرحلة التخطيط الواعية الأكثر بطأ حزمة عوامل غير واعية. يتمثل العيب فى الافتقار لحياة ذهنية ذاتية. لا مشاعر على الإطلاق!

إذا وضعنا فى الاعتبار مداخل الحواس العديدة ـ العينين، الأذنين، اللسان، الجلد ـ التى تغمر الدماغ بمعلومات عن البيئة، ووضعنا فى الاعتبار أن المؤثرات المتنوعة التى يتحكم فيها الدماغ ـ العينين، الرأس، الذراعين والأصابع، والساقين والقدمين، والجذع ـ التى تربى العوامل الزومبية لكل المجموعات المحتملة للمعلومات الواردة والناتجة، فمن المحتمل أن تكون غير فعالة. يتطلب الأمر عددا كبيرا جدا كما يتطلب شيئا ينسق أفعالها، خاصة حين تتعقب أهدافًا متصارعة. مثل هذا الجهاز العصبى، من المرجح تماما، أن يكون أكبر وأقل مرونة من دماغ يتبع استراتيجية هجينة تجمع العوامل الزومبية مع وحدة واعية أكثر مرونة.

لا أدعى أن مثل هذا الزومبى الفائق Über-zombie لا يمكن أن يوجد أو لا يمكن بناؤه بوسائل اصطناعية. لا أعلم ذلك. أدعى أن الانتقاء الطبيعى فضل الأدمغة التى تستخدم استراتيجية ثنائية.(١٢)

قد يوجد تشابه مفيد فى المشغلات الرقمية المطمورة. تُكرَّس هذه المشغلات المجهرية الصغيرة السريعة التى تعمل بتيار منخفض لغاية واحدة خاصة تنتشر فى التليفونات المحمولة، وأجهزة ألعاب الفيديو، والغسالات، والأدوات الرقمية الشخصية، والسيارات. بوضع هذه المشغلات مقابل المشغلات الأكبر، الأغلى والأكثر استهلاكا للطاقة، والأقوى أيضًا، مشغلات الكمبيوترات الشخصية. يستفيد ربوت متكيف بشكل حقيقى أو جهاز آخر من الاثنين. وربما يكون هذا وضع أدمغتنا.

١٤ ـ ٤ هل المشاعر مهمة؟

لا تجعل فكرةٌ من الأفكار السابقة الوجهَ الأساسى لمشكلة العقل والجسد أكثر

قابلية للفهم بأى شكل. لماذا ينبغى التخطيط، لماذا ينبغى أن تسير أية وظيفة يدًا بيد مع المشاعر؟

قَبِلَ معظمُ المفكرين عبر العصور وجود القدرة على الإحساس والكوليا حقائق حياتية مسلمة. لكن الكثير منهم يتعثرون عند وصف وظيفة للوعى، ويستنتجون أن الوعى لابد أن يكون ظاهرة ثانوية، دون قوى علِّيَّة، مثل صخب القلب وهو ينبض. الصوت مفيد لطبيب القلب وهو يشخص مريضًا، لكن لا أهمية له بالنسبة للجسد. عبَّر توماس هنرى هكسلى،[13] بريطانى من معتنقى المذهب الطبيعى وأحد المدافعين عن داروين، عن هذا الاعتقاد بشكل يجدر ذكره على النحو التالى:

> قد يبدو وعى البهائم مرتبطا بآلية أجسامها ببساطة كمنتج يصاحب عملها، وتمامًا دون قدرة على تعديل ذلك العمل كما أن صفير البخار المصاحب لعمل محرك قاطرة لا تأثير له على آلته.[14]

يستمر الاعتقاد بأن الوعى الظاهرى حقيقى ومهم للتأثير على أحداث العالم الطبيعى حتى انتشر على نطاق واسع ولافت بين الفلاسفة المحدثين. بينما لا يمكن كشف أن هذا الاعتقاد، عند هذه النقطة، زائف، يمكن دحضه لأنه يتأسس على حيلة، على خفة يد.

تجتمع كل الأوجه الوظيفية للوعى فى فئة واحدة، يسميها الفيلسوف الأمريكى نيد بلوك[15] **مدخل الوعى**. قدرة الوعى على الاهتمام بأحداث معينة والإشارة إليها، على أن يخطط ويقرر، وأن يتذكر مواقف، إلخ، أمثلة لمدخل الوعى. لأن لهذه العمليات وظيفة، نتخيل ـ مبدئيا ـ مباشرة أن الأجهزة العصبية تقوم بهذه الوظائف (رغم أن القيود العملية والإجرائية والتصورية ستمد عملية الاكتشاف لعقود). مما يجعل تشالمرز[16] يعتبرها جزءا من **المشكلة السهلة للوعى**. إذا فكرْتَ فى وظيفة جديدة، حسنًا، انقلها فقط إلى مدخل الوعى.

تتبقى المشاعر ـ **الوعى الظاهرى**. وهذه هى الخبرة الخام للمشاعر المسيطرة الحزينة لألبوم ميلز دفيس[17] **"نوع من الأزرق"** أو مشاعر النشوى، القريبة من

هذيان الرقص فى الليل. توجد هذه الكوليا، ولا تقوم بوظيفة. حقيقة أن علاج قناة جذر أمس جعلتك تود الزحف تحت أغطية سريرك تنتمى لعالم مدخل الوعى، بينما الألم السيئ بشكل لا يوصف - الجزء الذاتى - ظاهرى. يشير تشالمرز بشكل شهير إلى مشكلة كيف يولِّد العالم الفيزيائى عموما الكوليا باعتبارها المشكلة الصعبة، مبرهنا على أنه حيث إن الكوليا لا وظيفة لها، فلن يكون هناك تفسير مختزل للمشكلة الصعبة بمصطلحات المشكلة السهلة.(١٨)

أراه تفكيرًا غير مقنع. مجرد أن شخصا لا يستطيع تخيل وظيفة للكوليا، لا يتضمن أنها بلا وظيفة. كل ما يعنيه ذلك أن الإطار التصورى للشخص ليس كافيا. دعنى أقدم رأيا بديلا.

١٤ - ٥ المعنى والخلايا العصبية

للقيام بذلك أحتاج إلى معالجة مشكلة مرتبطة بالموضوع، مشكلة المعنى. تستجيب الخلية العصبية الموضحة فى الشكل ٢ - ١ لدبوس ورق مثنى يراه القرد من نقطة متميزة. يعرف عالم الأعصاب هذا بالنظر إلى الإعداد التجريبى، دبوس الورق أمام الحيوان، استجابة الخلية، إلخ؛ لكن كيف تعرف هذا الخلايا العصبية فى دماغ القرد، الخلايا التى تستقبل المعلومات من هذه الخلية؟ هذه هى مشكلة المعنى (يسميها الفلاسفة أيضًا مشكلة التعمد).

قُدِّم المعنى تقليديا فى سياق السيمنطيقا اللغوية. إذا وضعنا فى الاعتبار ازدهار المنطق الرمزى ونظريات الحساب فى آخر مائة عام، حُلِّل المعنى عادة فى علاقته بالتصورات اللغوية. أسئلة مثل "كيف تعنى كلمة - أسد - الأسد الحقيقى؟" نوقشت بلا نهاية وحُلِّلت وأعيد تحليلها. لكن تصورات اللغة تتطور من التصورات المكانية والبصرية والسمعية التى يشترك فيها البشر والحيوانات أيضًا. من منظور فهم كيف يمكن لحالات الدماغ أن تكون عن شىء، أو تشير إلى شىء، الاهتمام الحصرى تقريبا بالمنطق واللغة كان مشروعا عقيما نسبيا. لحسن الحظ، يتخلى الآن عن موضعه لسيمنطيقيا الأعصاب، التى تركز على كيفية انبثاق المعنى من أدمغة يشكلها التطور.(١٩)

تبرز مشكلتان أساسيتان. الأولى، أين يظهر المعنى فى العالم؟ الثانية، كيف تمثله الخلايا العصبيةُ الإسفنجية؟

عن مصادر المعنى

هناك مصادر كثيرة للمعنى فى العالم. ثمة مجموعة ميول مقدرة وراثيا. لا يولد الأطفال مثل ألواح بيضاء، بعقول خاوية. يبحثون عن اللذة، مثل مص اللبن من أثداء الأمهات، ويتجنبون الألم. اكتساب دوافع التلذذ الأساسية مباشرة بتحديدها فطريا مفيد بوضوح للبقاء على قيد الحياة.

ثمة مصدر ثانٍ أغنى للمعنى وهو التفاعلات الحركية الحسية الهائلة التى تنهمك فيها منذ مولدك. وتؤدى إلى توقعات ضمنية توجه كل ما تفكر فيه، أو تقوم به، أو تقوله. إذا تحرك رأسك توقع دماغك البصرى الصورة على الشبكية ليتحول طبقا لذلك. حين تمد يدك لشىء يبدو مثل المطرقة، تتوقع أن يكون ثقيلا بشكل معقول وتكيف عضلاتك طبقًا لذلك. تعرف أنك حين تلتقط كأسا مملوءة إلى حافتها بالماء، يجب أن تحذر خشية سكب محتوياتها. تعلَّمَ جهازُك العصبى هذه التوقعات فى الماضى بمساعدة قواعد التعليم المعتمد على الخبرة ومدها، ضمنيا، إلى المستقبل. الكائن المُثبَّت تمامًا، أو الشخص الذى ولد مشلولا بشكل كامل، لا يحس بهذا الوجه من أوجه المعنى.

يأتى المصدر الثالث للمعنى من انصهار البيانات الحسية فى الحواس وعبْرها. وردة حمراء، بأريج معين، على ساقها أشواك قد تشوكك. حين تنظر إلى شخص يتحدث، تتوقع تزامن حركة شفتيه وفكه مع صوته. حين لا يحدث هذا، كما فى الأفلام المدبلجة بلغة أخرى، يكون ذلك مُرْبِكًا. هكذا تكون الأدمغة الذواقة، بكثير من أعضاء المُدْخَل الحسى والنتاج الحركى، أغنى بالمعانى من الأجهزة العصبية الأبسط.

فى البشر، ينبثق المعنى أيضًا من الحقائق المجردة عن العالم ومن سيرتك الذاتية. على المسرح، على سبيل المثال، يخون بروتس صديقه المخلص يوليوس قيصر؛ فى الهندسة، ط π النسبة بين محيط الدائرة وقطرها؛ فى طفولتك، حملك جدك بين ذراعيه. تنسج هذه الحقائق غير المنطوقة والذكريات النسيج، الخلفية المعرفية التى تتبدى عليها حياتك.

كيف تعنى الخلايا العصبيةُ؟

كيف يتمثل المعنى فى المستوى العصبى؟ أعتقد أنا وفرنسيس أن هذا يحدث فى الارتباطات بعد المشبكية للائتلاف الفائز، الارتباطات العصبية للوعى، فى الخلايا العصبية الأخرى خارج هذا التجمع.

تأمل الخلية العصبية "كلينتون" فى الشكل ٢ ـ ٢، وهى عضو فى ائتلاف مسئول عن مُدْرَك رؤية الرئيس السابق بل كلينتون. إذا سُمِّمَتْ نهايات محورها، مما يمنع الحويصلات المشبكية من الإفراز، يمكن أن تستمر فى توليد جهود الفعل لكن لا يمكن أن تساهم فى الوعى؛ لأنها لا تستطيع التأثير على أى من أهدافه.[٢٠] إذا أُعيق نتاج الائتلاف كله فى رأسك بهذه الطريقة، فستجد صعوبة فى التعرف بسرعة على الرئيس كلينتون أو تخيله، وربما تعانى من مشكلة فى التفكير فى التصورات المرتبطة به. ربما يشخص طبيب الأعصاب أنك تعانى من شكل معين ومحدود مما يمكن أن يسمى **العجز عن الإدراك**.

المعنى المرتبط بصفة واعية جزء من نشاط ما بعد الارتباطات العصبية للوعى ينبعث من الائتلاف الفائز. يشكل أعضاء الائتلاف شبكة مترابطة جدا بعضهم مع البعض، ويؤسسون أيضًا اتصالات خارجية مع غير الأعضاء. على سبيل المثال، تثير خلية كلينتون والخلايا الأخرى الشبيهة بها خلايا تمثل مفهوم "الرئاسة" أو "البيت الأبيض"، خلايا ترتبط بالخلايا العصبية التى تستدعى الصوت الجلى للرئيس كلينتون، إلخ. هذه الخلايا العصبية المرتبطة بالموضوع تشكل إطار الارتباطات العصبية للوعى.[٢١]

ويتضمن هذا أن دماغًا بتمثيل صريح أكثر للمحفزات الحسية أو المفاهيم لديه القدرة الكامنة لشبكة أغنى من الارتباطات وكوليا ذات معنى أكثر مما لدى دماغ بتمثيل صريح أقل. أو، معبَّرًا عنه فى مستوى مناطق اللحاء، كلما كانت العقد الأساسية أكثر كان المعنى أغنى (القسم ٢ ـ ٢). يمكن تقييم مدى تمثيل صفة بأسلوب صريح بجس الخلايا العصبية الفردية فى عمود لحائى. قد تسمح مثل هذه الوسيلة الإجرائية، مبدئيا، بمغزى خبرة واعية بالقياس والمقارنة بأعضاء حسية مختلفة، عبر الزمن فى الفرد ذاته، أو عبر النوع.

يعبر الإطار عن مختلف ارتباطات الارتباطات العصبية للوعى التى تمد الصفة المُدْرَكة بالمعنى، بما فى ذلك ارتباطات الماضى، والنتائج المتوقعة للارتباطات العصبية للوعى، والخلفية المعرفية، والحركات (أو على الأقل الخطط المحتملة للحركة) المرتبطة بخلايا الارتباطات العصبية للوعى. يؤثر ائتلاف يمثل حبلا، على سبيل المثال، فى خطط التسلق. رغم إمكانية مساهمة بعض عناصر الإطار خارج الارتباطات العصبية الحقيقية للوعى فى نجاح هذه الارتباطات (على سبيل المثال، حين يتحرك قطار أفكارك من الرئيس كلينتون إلى الرئيس الحالى للولايات المتحدة).

لا أعرف إن كان مجرد النشاط المشبكى للإطار يكفى لتوليد المعنى أم تحتاج الارتباطات العصبية للوعى إلى إطلاق جهود فعل داخل الخلايا التى تشكل الإطار. ربما تعتمد الإجابة على مدى الامتدادات من الإطار عائدة لدعم الارتباطات العصبية للوعى أو الحفاظ عليها.

لا يكفى الإطار، فى ذاته، للوعى، رغم أن جزءًا منه ربما يصبح جزءًا من الارتباطات العصبية للوعى وهى تتحول.[٢٢] ربما تساعد الخلايا العصبية داخل الإطار، التى تمتد عائدة إلى الارتباطات العصبية للوعى فى استمرار الائتلاف المسئول. يمد الإطارُ الدماغَ بمعنى العقد الأساسية ذات الصلة - ما يتعلق به.

١٤ - ٦ الكوليا رموز

ركزت المناقشة السابقة على أن أى مُدْرَك، مثل وجه ابنى، يرتبط بقدر هائل من المعلومات - معناه. بالنسبة للجزء الأكبر، هذه الارتباطات لا تكون صريحة فى الدماغ فى تلك النقطة من الزمن، لكنه هناك ضمنيا، فى الإطار. كيف يبدو، حين رأيته آخر مرة، ما أعرفه عن شخصيته، نشأته وتعليمه، نبرة صوته، إحساسه المتحفظ بالدعابة، تفاعلاتى الانفعالية تجاهه، إلخ؛ يوجد كل ذلك فى الإطار. قدر مذهل من المعلومات التفصيلية، وأيضًا المعرفة الأكثر عمومية، كلها هناك. لا يُعبَّر بالضرورة عن هذه البيانات بتمثيلٍ نشط، يتعلق بتأجج الخلايا العصبية، لكن بشكل أكثر سلبية، فى صورة ارتفاعٍ تركيز الكالسيوم أو إزالة

استقطاب التفريعات الشجرية فى الأطراف قبل المشبكية وبعد المشبكية، التى ربما تؤدى، أو لا تؤدى، إلى نشاط شوكى بعد مشبكى.

لتناول هذه المعلومات بشكل فعال، على الدماغ أن يرمز لها. هذا، بإيجاز، هدف الكوليا. ترمز الكوليا لمستودع هائل من بيانات ضمنية وغير مفصح عنها وينبغى أن توجد لوقت كاف. تمكِّن الكوليا، عناصر الخبرة الواعية، الدماغَ من تناول هذه المعلومات المُتزامنة بسهولة. الإحساس المرتبط برؤية الأرجوانى رمز صريح لتدفق الارتباطات بالأشياء الأرجوانية الأخرى، مثل العباءة الأرجوانية لإمبراطور روما، وحجر كريم أرجوانى، والقلب الأرجوانى(٢٣) للوسام العسكرى، إلخ.

فى العمى الناتج عن الحركة (الفصل الأول) لا تستطيع رؤية الأقراص الصفراء لحظة؛ لأنها تُقمَع بسحابة البقع الزرقاء المتحركة، المهيمنة على الإدراك. فى هذه الحالة، ينخفض تأثير معلومات الأقراص الصفراء بشدة. بمجرد أن تراها، ينشِّط الائتلافُ العصبى المسئول الإطارَ لوقت كافٍ بحيث تعى اللون الأصفر. يستمر الرمز، فى هذه الحالة، وقتًا قصيرًا جدًا، هو الكولى quale المرتبط به (أناقش أوجهًا مختلفة للكوليا qualia فى القسم ١٨ ـ ٣).

إذا وضعنا فى الاعتبار الصفات الكثيرة المميزة التى تشكِّل مُدْرَكًا والعلاقات الكثيرة المناسبة بينها، ندرك تطور المشاعر الظاهرية للتعامل مع هذه التعقيدات المصاحبة للتعامل مع كل هذه المعلومات فى زمن حقيقى. الكوليا تصورات رمزية قوية لقدر رهيب من معلومات متزامنة مرتبطة بمُدْرَك ـ معناه. الكوليا خاصية خاصة لشبكات التغذية الرجعية، المتوازية بدرجة كبيرة، المتطورة لتمثل بشكل فعال انقضاض البيانات. من النشاط المتأجج للارتباطات العصبية للوعى ومن الإطار المصاحب ينبثق كولى هذا اللون.

لماذا تبدو الكوليا شيئًا؟

لكن لماذا تبدو هذه الرموز شيئًا؟ لماذا لا يلخص الدماغ هذه المعلومات ويشفرها دون مشاعر، كما فى كمبيوتر تقليدى؟

خمَّن تشالمرز (القسم ١ ـ ٢) أن هذه الأوضاع الظاهرية خاصية أساسية لأى جهاز لمعالجة المعلومات، بدائى تماما، مثل كتلة أو شحنة. فى هذا التعليق، يمكن أن تعى الدودة المدورة، أو حتى البارامسيوم أحادى الخلية،[٢٤] (دون أن تكون بالضرورة ذكية جدا أو واعية بذاتها). لهذا النوع من البانسيكزم[٢٥] جاذبية ميتافيزيقية مغرية ـ لأنه يجعل الخبرة فى كل مكان ـ ويبدو التحقق منه مستحيلا. ثمة فرضية أكثر واقعية وهى أن الحالات الذاتية محدودة بأجهزة معالجة المعلومات ذات المعمار الحسابى الخاص، أو مجال من السلوك، أو حد أدنى من التعقيد.[٢٦] على أى حال، ربما ينبثق أى تفسير لارتباط المشاعر بهذه الرموز من صياغةٍ نظريةٍ للمعلومات من منظورى الشخص الأول والشخص الثالث.

إنها مياه عميقة، لا تحظى إلا بقليل من الاتفاق بين الأكاديميين. إذا وضعنا فى الاعتبار القدرة المحدودة اليوم على التدخل فى الدماغ بأسلوب دقيق ومباشر، تبدو وسيلة إمبريقية للتأكد من صحة هذه الأفكار أو دحضها بعيدة تمامًا. حاليا، من الأجدى أن يركز بحثى على الارتباطات العصبية للوعى ولا يبالى كثيرا جدا بهذه القضايا التأسيسية.[٢٧]

إنه تمرين يستدعى التفكير فى مدى تفرد الكوليا بالنسبة للأدمغة. هل يمكن أن تكون للكمبيوترات أو الربوتات مشاعر؟ هل يمكن لآلة مسلسلة، لأسباب تتجاوز فهنا حاليا، حتى لو كانت قوية، ألا تستطيع القيام أبدا بتنفيذ العمليات المناسبة لتمثيل كل الأوجه المختلفة لشىء أو حدث وكل العلاقات المحتملة بينها، بهذه الطريقة؟

لماذا الكوليا خاصة؟

لحسن الحظ لا تبدو كل أوجه مشكلة العقل والجسد بهذا الشكل المحبِط. لنأخذ مشكلة كثيرًا ما أشار إليها الشعراء، استحالة نقل الخبرة الدقيقة لشخص آخر. لماذا المشاعر خاصة؟ الإجابة، على ما أعتقد، واضحة ولها مكوّنان.

الأول، يعتمد معنى أى إحساس على التكوين الجينى للفرد وخبراته السابقة وتاريخ حياته. وحيث إنها لا تتشابه بالضبط أبدًا فى فردين، ليس من السهل إعادة إنتاج هذا الإحساس فى دماغ آخر.

الثانى، يُشفِّر المدرك الذاتى نشاطٌ متعدد البؤر فى العقد الأساسية. إذا أردْتُ أن أخبرك بخبرتى فى رؤية أرجوانى رائع، يتطلب الأمر نقل المعلومات المناسبة من هذه العقد إلى أجزاء من الدماغ مسئولة عن الكلام، ثم إلى الحبال الصوتية واللسان. وإذا وضعنا فى الاعتبار الطرق الجانبية الهائلة وارتباطات التغذية الرجعية التى تميز اللحاء، يعاد، بالضرورة، تشفير هذه المعلومات فى سياق هذا النقل. ترتبط المعلومات الصريحة، التى تعبر عنها الخلايا العصبية الحركية التى تنعش عضلات الكلام عندى، بالمعلومات الصريحة فى العقدة الأساسية للون، لكنها لا تماثلها.

وذلك ما يجعلنى لا أستطيع نقل الطبيعة الدقيقة لخبرتى باللون إليك (حتى لو كان لدينا مجموعة المستقبلات الضوئية الحساسة لطول الموجة ذاتها). (٢٨)

يمكن، مع ذلك، نقل الاختلاف بين المُدْرَكات، مثل الاختلاف بين البرتقالى والأحمر المصفر، لأن الاختلاف فى النشاط المتأجج فى منطقة اللون يمكن أن يظل مرتبطًا بالاختلاف فى النمط المتأجج فى المراحل الحركية. (٢٩)

١٤ ـ ٧ ماذا يتضمن هذا بشأن موضع الارتباطات العصبية للوعى؟

فى القسم ١٤ ـ ١، أشرْتُ إلى أن التأملات فى الفائدة البيولوجية للارتباطات العصبية للوعى لا تفيد إلا بقدر ما تكشف عن طبيعتها المراوغة. دعنى أتوسع فى ذلك.

يهتم مقدم اللحاء بالتأمل والتخطيط وتنفيذ النتاج الحركى الإرادى بشكل ما. عمومًا، يحفظ اللحاء قبل الحركى، ولحاء مقدم الفص الجبهى، ولحاء المطوقة الأمامية، المعلومات الحسية أو معلومات الذاكرة، وتساعد هذه المناطقُ على استعادة البيانات من الذاكرة طويلة المدى، وتعالج كل هذه البيانات لأغراض التخطيط. وتأتى الأدلة على ذلك من الملاحظة الدقيقة للمرضى بتلف فى الفصين الجبهيين، ومن تجارب التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى فى الأشخاص الطبيعيين. (٣٠)

إذا كانت فرضيتنا عن الملخص التنفيذى صالحة، ينبغى أن يكون للعقد الأساسية التى تمثل المعلومات الحسية بأسلوب صريح مدخل مباشر إلى وحدات التخطيط فى الدماغ - لحاء مقدم الفص الجبهى ولحاء المطوقة الأمامية، خاصة. إذا وضعنا فى الاعتبار التشريح العصبى للحاء، لا يحتمل أن يفى بالغرض ارتباط غير مباشر، يشمل مرحلة عصبية أو أكثر بين هذه العقد ومراحل التخطيط. مثل هذا الارتباط غير المباشر قد يكون ضعيفًا جدا، من المنظور البيولوجى، بدرجة تجعله لا يدفع، بفعالية وبشكل يعول عليه، خلايا الهدف. ينبغى أن يكون المسار الحيوى أحادى المشبك - خلية عصبية لخلية عصبية.

إضافة إلى ذلك، ينبغى أن تستقبل الخلايا العصبية فى العقد الأساسية فى مؤخر اللحاء التغذية الرجعية المتبادلة من مقدم الدماغ. النشاط الشوكى المستمر الذى يتنقل بين اللحاء الصدغى السفلى ومنطقة الكلام عند البشر المعروفة بمنطقة بروكا Broca،[٣١] يمكن أن تشكِّل الارتباطات العصبية للوعى بإدراك الأشياء. بشكل مماثل، يمكن أن يكون النشاط المدوى بين المنطقة الصدغية الوسطى والمجالات الجبهية للعين الارتباطات العصبية للوعى برؤية الحركة. إذا لم تمتد منطقة بصرية مباشرة إلى الجزء الأمامى من اللحاء، لا تدخل الأنشطة فى تلك المنطقة إلى الوعى مباشرة؛ لأن نشاط المناطق الجبهية مطلوب للمساعدة فى تأسيس الائتلاف باعتباره اللاعب المهيمن فى اللحاء.

ويتبع هذه الفرضية أن الشخص الذى دون لحاء مقدم الفص الجبهى واللحاء قبل الحركى لا يمكن أن يعى. حاليًا، يصعب اختبار ذلك مباشرة. لا أعرف مريضًا فقد كل هذه المناطق فى نصفى الدماغ وبقى على قيد الحياة.[٣٢] ولا توجد تقنيات يمكن أن توقف نشاط كل هذا النسيج على الجانبين بسرعة وبشكل رجعى وآمن.

أُجرِيتْ بعضُ التجارب المرتبطة بالموضوع رغم ذلك. بعد إزالة جراحية للحاء الطرفى limbic والجدارى والجبهى، كانت القرود عمياء وظيفيا تمامًا، عاجزة عن استغلال المعلومات البصرية. يبدو أن المسار البطنى يمكن أن يؤثر فقط على السلوك بالمساهمة مع المناطق اللحائية غير البصرية.[٣٣] يوجد أيضًا دليل

مباشر على العيوب البصرية فى المصابين بتلف فى اللحاء الخلفى الجانبى لمقدم الفص الجبهى، بعيدا عن مناطق مؤخر اللحاء. (٣٤)

عمومًا، لا يشكو مرضى مقدم الفص الجبهى من فقد خطير فى الإدراك الواعى، ولا المرضى الذين قطعتْ أدمغتهم بطول الخط الأوسط (الفصل ١٧). بالمثل، المرضى الذين فقدوا إدراك اللون فى جزء من مجال إبصارهم لا يذكرون رؤية العالم بالرمادى فى ذلك الجزء واللون فى كل موضع آخر (الهامش ١٢ فى الفصل ٨). ومن اللافت تماما مدى مرور هذه العيوب الدرامية بكل معنى الكلمة دون أن تُلاحَظ، عهد حزين للقوة المحدودة للعقل البشرى من أجل استبطان صادق.

لفرضية الملخص التنفيذى تابع مهم وغير حدسى. اللحاء البصرى الأولي فى القرد الآسيوى ليست له امتدادات مباشرة بعد الثلم المركزى. لا يرسل اللحاء البصرى الأولي محاوره بعد المنطقة البصرية الرابعة والمنطقة الصدغية الوسطى بكثير، وبالتأكيد لا يرسلها إلى اللحاء قبل الحركى أو لحاء مقدم الفص الجبهى. (٣٥) ومن ثم استنتجنا أنا وفرنسيس فى ١٩٩٥ أن نشاط اللحاء البصرى الأولي لا يدخل مباشرة إلى الوعى - الارتباطات العصبية للوعى بالرؤية لا يمكن أن تكون فى هذا اللحاء، حتى إذا كان عمله بشكل جيد (بالضبط مثل الشبكية السليمة) مطلوبا للرؤية الطبيعية.

كما شرحنا فى الفصل السادس، تتأجج خلايا اللحاء البصرى الأولي فى القرد بحيوية للأشياء التى لا يراها القرد. تورط التأثيراتُ اللاحقة التى تتضمن المحفزات غير المرئية مراحلَ ما بعد اللحاء البصرى الأولي باعتبارها حاسمة للإدراك. الدليل الوحيد الذى يعارض أطروحتنا بيانات التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى، ومن المسلم به أنها توضح أن اللحاء البصرى الأولي فى الإنسان يتبع ما يدركه الكائن. ويعتمد هذا الاستنتاج على تفسير خاص لإشارات التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى وهو موضع شك (انظر القسم ١٦-٢).

١٤ - ٨ الملخص

حيث إن الوعى خاصية لنسيج بيولوجى متطور جدا، فينبغى أن تكون له وظيفة أو أكثر. وهذا فصل تأملى إلى حد ما يتناول هذا الموضوع.

وضعتُ أنا وفرنسيس فرضية الملخص التنفيذى: الارتباطات العصبية للوعى مفيدة؛ لأنها تمكن كائننا من تلخيص الوضع الحالى للأمور فى العالم، بما فى ذلك جسمه، وإتاحة هذا الملخص الموجز لمراحل التخطيط. وتتسم صفات هذا الملخص بالمشاعر الذاتية. هذه الكوليا هى المادة الخام التى تُشيَّد منها الخبرة الواعية، تؤثر فى الغرض العام، والتفكير المرن المتأنى وآلة صناعة القرار فى الفصين الجبهيين.

يوحى البحث والخبرة العامة بأن اكتساب سلوكيات زومبية عفوية سريعة يتطلب الوعى. ويصح هذا بشكل خاص على الأنشطة الحركية الحسية النمطية التى يحب البشر الانهماك فيها ـ تسلق الصخور، والمبارزة، والرقص، والعزف على الكمان أو البيانو، وهلم جرا. بمجرد التدريب بشكل كافٍ على مهمة، يتعارض الاستبطان الواعى مع تنفيذها بسلاسة. تتطلب البراعة الحقيقية استسلام العقل، ترك الهدف يمضى ساعيا بحماس، ليحققه الجسم وحواسه.

هل يمكن أن تكون هناك كائنات مثلنا لكنها خالية من حياة ذهنية واعية؟ ربما. لكن إذا وضعنا فى الاعتبار المجموعة الكبيرة من الحواس ومدى مؤثرات النتاج، المتاحة للحيوانات العليا، يكون تطور عوامل زومبية حركية حسية للتعامل مع كل المجموعات المحتملة لأنساق مُدْخَل كل السلوكيات المحتملة ونتاجها ـ مربكا. الأفضل تماما لإكمال جيش العوامل الحركية الحسية السريعة والمحدودة باستراتيجية بطيئة إلى حد ما لكنها مرنة ـ تلخيص ما فى الخارج هناك والتخطيط للمستقبل طبقا لذلك.

لكن هذا التعليق لا يكفى لتفسير ضرورة الإحساس بشىء لنعى. أحد التفسيرات الرائجة أن هذه المشاعر، الكوليا، لا تخدم غرضًا مفيدًا، إنها ظواهر ثانوية. يبدو هذا موضع شك. الكوليا متينة البنية بدرجة لا تجعلها ناتجا عرضيا غير مناسب للدماغ. أفضِّلُ فكرة ارتباط الكوليا بالمعنى بقوة.

تشتق الارتباطات العصبية للوعى معناها من علاقة مشبكية بمجموعات الخلايا العصبية الأخرى التى قد تكون نشطة أو غير نشطة فى ذاتها. تشفر الكثير من المفاهيم والخبرات المرتبطة بمُدْرَك شعورى ـ إطارها. الكوليا تمثيل رمزى قوى لمستودع هائل من المعلومات المتزامنةً المتأصلة فى هذا المعنى (موجز

لتشفير كل هذه البيانات). الكوليا خاصية خاصة للشبكات المتوازية بشكل هائل. يفسر هذا الإطار خصوصية الكوليا واستحالة وصول محتواها الكامل للآخرين.

يتبع فرضيتنا عن الملخص التنفيذى أن الارتباطات العصبية للوعى لابد أن ترتبط بشدة بمراحل التخطيط، الموجودة فى اللحاء قبل الحركى، ولحاء مقدم الفص الجبهى، ولحاء المطوقة الأمامية. واستنتجتُ أنا وفرنسيس أن خلايا الارتباطات العصبية للوعى ينبغى أن تمتد مباشرة إلى مقدم اللحاء. فى القرد، لا توجد ارتباطات مباشرة من اللحاء البصرى الأولي إلى منطقة جبهية، ويبدو من المعقول أن نؤكد أن الارتباطات العصبية للوعى لا يمكن أن تكون فى هذا اللحاء (كما أكدنا فى الفصل السادس).

دعنى الآن أعود من عالم التأمل إلى عالم أكثر عيانية. أتناول فيما يلى البنية المجهرية للوعى البصرى وديناميكياته. تقدم دراسة تطور مدرك فردى إشارات حاسمة للدوائر المسئولة عن الوعى.

الهوامش:

(١) وودى ألن Allen (١٩٣٥ ـ) : كاتب وممثل ومخرج أمريكى (المترجم).

(٢) ليست كل الأعضاء المعقدة والمتطورة جدا حساسة، بالطبع. الكبد ليس حساسا، ولا جهاز المناعة. الجهاز العصبى المعوى ـ ١٠٠ مليون خلية عصبية أو أكثر تغلف الجدار المعوى لأمعائك- يبدو أنه يعمل بلا وعى (إذا كان للأمعاء عقل خاص بها، فهى لا تخبر الدماغ). وهذا أمر جيد أيضًا؛ لأن الإشارات المتناثرة التى يقدمها مسئولة عن الإحساس بالمعدة المنتفخة أو الغثيان (Gershon, 1998).

(٣) مرفين مينسكى Minsky (١٩٢٧ ـ) : عالم أمريكى (المترجم).

(٤) جونسون ليرد Laird (١٩٣٦ ـ) : عالم أمريكى (المترجم).

(٥) للاطلاع على مناقشة أكثر تفصيلا، انظر Johnson-Laird, 1983؛ Minsky, 1985؛ Velmans, 1991؛ Mandler, 2002، والفصل العاشر فى Baars, 1988. التفكير فى الدماغ/ العقل باعتباره كمبيوتر متوازيا آخر خط طويل من الاستعارات التقنية التى تمتد إلى الخلف من الكمبيوترات المتوازية وكمبيوترات فون نيومان، ولوحات تحويل التليفون، ومحركات البخار، والساعات، ومحطات المياه، إلى أقراص الشمع فى اليونان القديمة.

(٦) Crick and Koch, 1995a.

(٧) رغم ذلك، يمكن أن يحدث كثير من التفكير بلا وعى (الفصل الثامن عشر).

(٨) منتظرًا بنفاد صبر وإشارة المرور حمراء، تندفع بغريزتك إلى الأمام بمجرد أن تصبح خضراء؛ لكن هذه الدفعة ينبغى مراجعتها إذا كان أحد المشاة لا يزال يعبر الشارع. يقدم الدليل على كبح الذكريات والسلوكيات فى Anderson and Green (2001) and Mitchell, Macrae, and Gilchrist (2002).

(٩) فى "أصل الوعى فى تحطيم العقل الثنائى"، Julian Jaynes, 1976 يرى عالم النفس (١٩٢٠ ـ ١٩٧٧)، عالم أمريكى اشتهر بالكتاب المذكور ـ المترجم) أن الوعى عملية متعلمة نشأت فى مكان ما فى الألف الثانى قبل الميلاد حين أدرك البشر فى النهاية أن الأصوات داخل رؤوسهم ليست الآلهة التى تتحدث إليهم بل كلامهم الداخلى. الكتاب

ممتع جدا، ممتلئ بملاحظات أثرية وأدبية وسيكولوجية مهمة، لكنه يخلو من علم للدماغ أو فرضية قابلة للاختبار. أطروحته الأساسية خطأ تماما بالتأكيد. سأل الفيلسوف كوين W.V. Quine يانيز Jaynes عن شعور الناس بخبراتهم قبل "اكتشاف الوعي" ويظن أنه رد بأن فى تلك الأيام، لم يعرف الناس خبرة أكثر مما تعرف طاولة! (Ned Block، اتصال شخصى).

(١٠) لا يعنى هذا أن التعليم كله يتطلب وعيًا. يوجد قدر كبير من الأبحاث التى تتناول التعليم الضمنى، وبشكل خاص التعليم غير الواعى لسلاسل حركية (Cleeremans et al., 1998؛ Destrebecqz and Cleeremans, 2001).

(١١) يوجين هريجيل Herrigel (١٨٨٤ ـ ١٩٥٥): فيلسوف ألمانى، نشر كتاب "زن فى فن الرماية Zen in the Art of Archery" سنة ١٩٤٨ (المترجم).

(١٢) إذا لم يولِّد التطور على هذا الكوكب مخلوقات واعية، لما استطعنا أنا وأنت أن نتساءل عن الوعى. بهذا المعنى، ربما يشبه الوضع المبدأ الإنسانى فى الكوزمولوجيا، فرضية أن قوانين الفيزياء فى الكون تفضل بقوة انبثاق الحياة (Barrow and Tipler, 1986).

(١٣) توماس هنرى هكسلى Huxley (١٨٢٥ ـ ١٨٩٥): عالم أحياء بريطانى (المترجم).

(١٤) هذا الاقتباس من حديث مهم لهكسلى موجه فى ١٨٨٤ للجمعية البريطانية لتطوير العلوم. أثار قضية اعتقاد ديكارت بأن الحيوانات مجرد آلات أو automata، ليست مجردة فقط من العقل بل من أى نوع من الوعى. بدلا من ذلك، افترض هكسلى أنه لأسباب تتعلق بالاستمرارية البيولوجية، لم تشارك بعض أنواع الحيوانات البشر فى أوجه معينة من الوعى. لكنه ارتبك، مع ذلك، حين تعلق الأمر بوظيفة الوعى.

(١٥) نيد بلوك Block (١٩٤٢ ـ): فيلسوف أمريكى (المترجم).

(١٦) تشالمرز Chalmers (١٩٦٦ ـ): فيلسوف أسترالى (المترجم).

(١٧) ميلز دفيس Davis (١٩٢٦ ـ ١٩٩١) : موسيقار أمريكى، أصدر ألبوم "نوع من الأزرق Kind of Blue" سنة ١٩٥٩ (المترجم).

(١٨) أدخل Block, 1995 التمييز بين مدخل الوعى والوعى الظاهرى (انظر Block, 1996). يتوسع المجلد الذى حرره Block, Flanagan and Güzeldere, 1997 فى الموضوع. كما قلتُ فى الفصل الأول، لا أفرق بين مدخل الوعى والوعى الظاهرى. انظر Chalmers, 1996 للاطلاع على مناقشات ممتعة وجدلية حول المشكلة السهلة والمشكلة الصعبة. ولَّدتْ هذه الثنائية قدرا كبيرا من الأدب الثانوى (Shear, 1997). لا شك اليوم، فى بداية القرن الحادى والعشرين، أن الأوجه الظاهرية للوعى محيرة جدًا جدا: مشكلة صعبة حقا. سواء بقيت مشكلة صعبة hard بحرف H كبير لتبقى مرئية أم لا. يرتد فلاسفة آخرون عن أن الفكرة الحقيقية لها نوع من الوجود الواقعى (على سبيل المثال

بالنسبة لهم، يمكن اختفاء لغز العقل والجسد بمجرد فهم مدخل Dennett, 1991). الوعى وتجلياته المادية فى الدماغ.

(١٩) ترجع الأدبيات عن التعمد والمعنى والعقل إلى أكثر من ألفى عام إلى الستوا Stoa فى أثينا الكلاسيكية. عمومًا، كيف ينبثق المعنى من الدماغ سؤال لم يشغل الأكاديميين إلا فى العقدين الأخيرين (Dennett, 1969؛ Eliasmith, 2000 ؛ Churchland, 2002).

(٢٠) ليس من المستحيل أن الفقد المباشر لمثل هذه الخلية قد يؤدى إلى اختلافات سلوكية دقيقة يمكن التقاطها باختبار حساس بشكل فعال.

(٢١) استخدم William James, 1890 (١٨٤٢ - ١٩١٠) فيلسوف وعالم نفس أمريكى - المترجم) هذا المصطلح، الذى أوحى لنا به Graem Mitchison، فى هذا السياق بالفعل.

(٢٢) يحتمل حدوث الإعداد اللاشعورى فى المشابك التى تربط الارتباطات العصبية للوعى بالإطار. يعنى هذا أن المفاهيم ذات الصلة يمكن أن تنشط أسهل فى المستقبل المباشر.

(٢٣) القلب الأرجوانى Purple Heart: وسام عسكرى يمنح للمصابين فى العمليات (المترجم).

(٢٤) البارامسيوم Paramecium: كائنات أولية ذات أهداب توجد فى المياه العذبة ولها عادة تجويف بيضاوى أو فموى للتغذية (المترجم).

(٢٥) البانسيكزم panpsychism: فى الفلسفة، وجهة نظر ترى أن كل أجزاء المادة تشتمل على عقل، أو رأى أكثر شمولية يرى أن الكون كله كائن يتمتع بعقل (المترجم).

(٢٦) انظر الفصل الثامن فى Chalmers, 1996, 2003؛ Edelman and Tononi, 2000؛ Edelman.

(٢٧) هذه البؤرة كانت فعالة فى موضع آخر. العجز عن تقديم إجابة مقنعة للسؤال: "لماذا يكون هناك لا شىء بدلا من شىء ما؟" لم يعترض تقدم الفيزياء بشكل محسوس.

(٢٨) هذا التفسير لا يستبعد احتمال تكنولوجيا مستقبلية تسمح لملاحظ خارجى بالدخول إلى عقدى الأساسية للون مباشرة.

(٢٩) يحتمل أن تكون قاعدة عامة أن طبيعة أى شىء - المقولة الشهيرة لكانط Kant الشىء فى ذاته Das Ding an sich لا يمكن التعبير عنها أبدًا، إلا فى علاقته بأشياء أخرى.

(٣٠) على سبيل المثال، يعاق مرضى الفص الجبهى عادة عند حل مشاكل من النوع "المزعج للدماغ" الذى يتطلب تخطيطا مقدما، مثل مهام "برج هانوى Tower of Hanoi" أو "إبريق الماء Water Jug" (Colvin, Dunbar and Grafman, 2001. Fuster, 2000)

(٣١) تم اقتفاء الارتباطات أحادية المشبك بين نصفى الدماغ من اللحاء الصدغى السلفى فى النصف الأيمن إلى منطقة بروكا فى النصف الأيسر فى دماغ الإنسان (Di Virgilio and Clarke, 1997).

(٣٢) حتى المريض المشهور لدندى Dandy (Brickner, 1936)) احتفظ بمنطقة بروكا واستمر يتكلم. للاطلاع على مراجعة لمرضى الفص الأمامى، الغالبية العظمى منهم أصيبوا بتلف فى ناحية واحدة، انظر Damasio and Anderson, 2003

(٣٣) Nakamura and Mishkin, 1980, 1986. التدمير الهائل للنسيج العصبى المطلوب لهذه التجارب تجعلنى حذرا بشأن وضع قدر كبير من الإيمان بمثل هذا التدخل القاسى.

(٣٤) Barcelo, Suwazono and Knight, 2000.

(٣٥) لا يعرف شىء تقريبا عن النمط التفصيلى للارتباطات اللحائية ـ اللحائية فى البشر، ومن ثم تأتى كل الإشارات هنا إلى دماغ القرد الآسيوى. ليس للحاء البصرى الأولي امتدادات مباشرة إلى المجالات الجبهية للعين، أو إلى المنطقة الواسعة فى مقدم الفص الجبهى المحيطة وتشمل الثلم الرئيسى (Felleman and Van Essen, 1991) ، أو، بقدر ما نعرف، إلى أية منطقة جبهية أخرى. إضافة إلى ذلك، لا يمتد اللحاء البصرى الأولي إلى النواة الذنبية caudate فى العقد القاعدية (Saint-Cyr, Ungerleider and Desimone, 1990)، أو النوى الصفائحية فى المهاد، أو المختفية claustrum (Sherk, 1986)، أو إلى جذع الدماغ، باستثناء امتداد صغير من أطراف اللحاء البصرى الأولي إلى الجسر (Fries, 1990).يقدم اللحاء البصرى الأولي، مع ذلك، المعلومات البصرية المهيمنة إلى معظم المناطق اللحائية البصرية الخلفية، بما فى ذلك المناطق البصرية الثانية والثالثة والرابعة والمنطقة الصدغية الوسطى. ضمن الأهداف تحت اللحائية، يمتد اللحاء البصرى الأولي إلى الحدبة التوأمية العليا، والنواة الركبية الجانبية، والمسندية (الفصل الرابع).

الفصل الخامس عشر

عن الزمن والوعى

سأل "هانز كاستورب": "حسنًا، إذن، ما الزمن؟" وثنى طرف أنفه بشدة حتى بهت وخلا من الدماء. "هل يمكن أن تجيبنى؟ الفضاء ندركه بأعضائنا، بحاستى البصر واللمس. لكن ما عضو الزمن لدينا ـ أخبرْنى إذا استطعْتَ. ترى، ذلك حيث تثبت. لكن كيف نقيس شيئًا لا نعرف عنه شيئًا، ولا خاصية من خصائصه؟ نقول عن الزمن إنه يمر. حسنا جدا، ليمر. لكى تقدر على قياسه ـ انتظرْ دقيقة: لكى تكون قابلة للقياس، ينبغى أن يمر الزمن بانتظام، لكن من قال إنه يفعل ذلك؟ بقدر ما نعى لا يمر بانتظام، نقيس فقط أنه يمر بانتظام، حتى لا نختلف، ووحدات القياس التى نتبعها عشوائية تماما، مجرد أشياء متفق عليها ـ"

توماس مان، "الجبل السحرى Magic Mountain"

الدماغ الميت فقط إستاتيكى، ساكن. الدماغ الحى عضو ديناميكى مذهل. تفرغ الخلايا العصبية تلقائيا (طريقة أخرى للقول ليس من الواضح لماذا تأججت فى تلك النقطة من الزمن) فى غياب معلومات ترد بوضوح. يكشف رسم المخ الكهربى، أيضًا، هذه الخاصية الديناميكية بنوبات لا تتوقف من نشاط أكثر قوة مركَّب فوق خلفية مذبذبة جدا لما يستطعْ علماء الأعصاب فهمها بعد. يبدو كل هذه الرج العنيف من الإشارات الكيميائية والكهربية على المستوى الظاهرى،

أيضًا. تعرف من الاستبطان صعوبة التركيز وقتًا طويلا فى موضوع واحد. يتحول محتوى وعيك دائما: تتطلع من كمبيوترك لترى أشجارًا تتمايل فى الخارج، وتسمع كلبًا ينبح، قبل أن تتذكر فجأة، بشكل غير مطلوب، موعدًا نهائيا فى الأسبوع القادم. تحتاج جهدًا متناغمًا للتركيز على شىء واحد.

وهذا فى الذهن، أقدم ديناميكيات الوعى. لا يحدث المُدْرَك فى التو. تتطور عمليات فى الدماغ تسبق الارتباطات العصبية للوعى بقدر معقول من الزمن. كم من الوقت يلزم لمحفز ليُدرَك بوعى؟ كيف يعتمد هذا على العمليات الأساسية التى سبق ذكرها؟ هل تظهر الارتباطات العصبية المسئولة للوعى تدريجيا أم فجأة؟ ماذا يحدث إذا تتابعت صورتان فى وقت متقارب؟ كيف يمكن أن تمحو الصورة الثانيةُ الأولى من المشهد؟ ماذا يكشف هذا عن طبيعة الارتباطات العصبية للوعى؟ هل يتطور الإدراك باستمرار أم فى فترات متميزة، مثل أطر فيلم؟ نغطى هذه المواضيع فى هذا الفصل.

١٥ ـ ١ ما مدى رشاقة الرؤية؟

كم يستغرق الأمر لترى شيئا؟ من طرق الإجابة عن هذا السؤال قياس زمن رد الفعل. اجعل محفزا يومض على شاشة فى وجود أشخاص يضغطون زرا بمجرد رؤيته أو بمجرد أن يعرفوا بشكل يعول عليه هل رأوا قضيبا رأسيا أم عموديا. المشكلة مع مثل هذه التجارب أن وقت الاستجابة لا يشمل فقط فترة المعالجة الضرورية لاستنباط المعلومات ذات الصلة من إشارات الشبكية، بل يشمل أيضًا الوقت المستغرق لتوليد الاستجابة الحركية وتنشيط عضلات الأصابع سريعة الذبذبة.

قاس سيمون ثورب Thorpe ومساعدوه فى مركز أبحاث الدماغ والمعرفة فى تولوز،[١] فرنسا، الجهد المستثار بصريا من فروة الرأس (القسم ٢ ـ٣) فى دراسة للتمييز. كان على الخاضعين للبحث أن يقرروا بسرعة هل هناك حيوان أم لا فى صور فوتوغرافية ملونة لبيئات طبيعية (كما فى الشكل ٩ ـ ٢) وَمَضَتْ وقتًا وجيزًا على شاشة. كانت هذه المهمة مثيرة للتحدى؛ لأن الخاضعين للبحث لم تقدم لهم معلومات سابقة عن الحيوان المتوقع (مثلا، نمر فى أكمة، ببغاوات على شجرة، أو

أفيال فى السافانا). كما تبين، لا يجد الناس، سواء كانوا مدربين أم لا، مشكلة فى هذه المهمة، مع زمن رد فعل أسرع من نصف ثانية.

سجل علماء النفس متوسط الجهد المستثار عند عرض صور بها حيوانات وقارنوه بالجهد الكهربى بعد صور خالية من الحيوانات. كان من المستحيل التمييز بين شكلى الموجات فى اللحظات القليلة الأولى بعد عرض الصورة، لكن التباعد بدأ بحدة بعد ١٥٠ ملى ثانية. أى إن عملية فى الدماغ شفرت الإجابة ("حيوان" أو "لا حيوان") فى تلك النقطة الزمنية المبكرة بشكل لافت. [٢]

والموجة الشبكية للنشاط الناجم عن الضوء تترك الشبكية، تصل إلى طبقة المُدْخَل، طبقة الخلايا الكبيرة فى اللحاء البصرى الأولى (المسار السريع الردىء من الشبكية) فى ٣٥ ملى ثانية. وتترك أقل من ١٠٠ ملى ثانية لتنشيط الشبكات فى اللحاء الصدغى السفلى وحوله وبعده، عليه أن يستنبط بايت واحد من المعلومات من كل صورة (أى، "هل هناك حيوان فى المشهد؟"). مع زمن لرد الفعل العصبى للمُدْخَل المشبكى يتأرجح حول ٥ ـ ١٠ ملى ثانية، لا يترك هذا وقتا لكثير من الحسابات التكرارية.[٣]

مع ذلك، لا يتضمن بالضرورة استنباط الدماغ لوجود الحيوان أن هذه المعلومات يمكن الوصول إليها بوعى فى تلك النقطة الزمنية. ربما يستغرق الأمر وقتا أطول بكثير. حين تومض الصورة وقتًا قصيرًا وتحجبها صورة أخرى على الفور من المشهد، يكتشف الأشخاص وجود حيوان أو غيابه بشكل أقل نجاحًا (مقارنة بوضع يخلو من الصورة الثانية الحاجبة). رغم وعيهم بالكاد أنهم يرون شيئًا، ناهيك عن رؤية حيوان. [٤] هكذا توضح هذه التجربة أن الرؤية يمكن أن تعمل بسرعة هائلة، لكنها لا تفيد على الفور فى تحديد موعد بداية المُدْرَك الواعى.

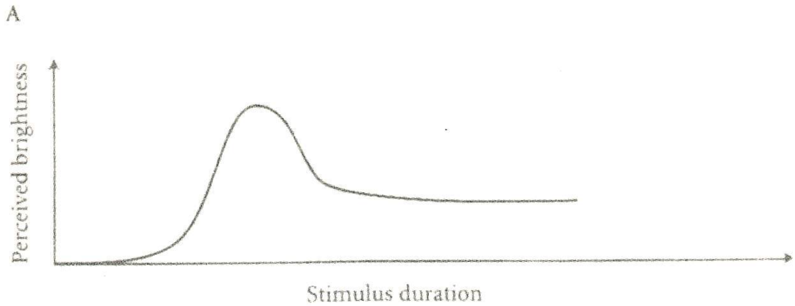
١٥ ـ ٢ خاصية الإدراك: الكل أو لا شىء

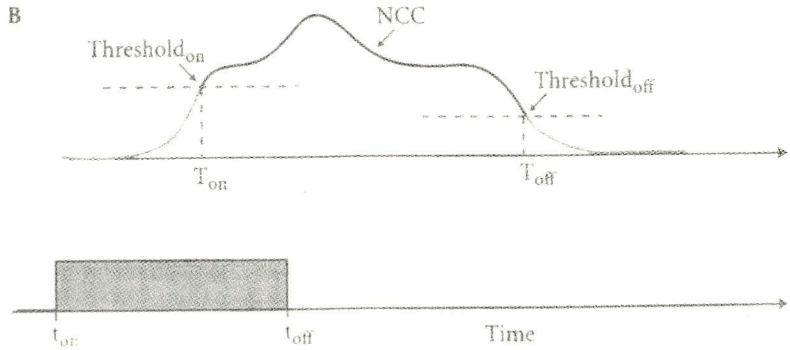
حين ينطلق البرق أثناء عاصفة رعدية، يبرز العالم فى ارتياح شديد، تصل فوتونات photons كافية إلى الشبكية لتقدم صورة واضحة. هذه الخبرة

والخبرات المرتبطة بها بفلاش المصابيح توضح أننا يمكن أن ندرك الأحداث الموجزة جدا، حتى لو كانت الديناميكيات الزمنية المتناهية للمستقبلات الضوئية والخلايا العصبية تشوش استجابة الدماغ لها.(٥) مع ذلك، ما المدى الزمنى للمُدْرَك ذاته؟ هل يصبح تدريجيا أكثر حيوية حتى يصل القمة ثم يتضاءل؟ أم أن المدرك يولد كاملا، مثل بلاس أثينا من رأس زيوس،(٦) فقط ليموت فجأة كما ولد؟ على أية حال، أتوقع أن تعكس الارتباطات العصبية المدْرَك. هكذا، إذا جاء الإحساس فجأة للوجود، ينبغى أن تأتى الارتباطات العصبية للوعى مثله.

تليس بتشمان Talis Bachmann فى جامعة استونيا مناصر قوى للمقاربة **الجينية المجهرية** microgenetic للوعى.(٧) يرى أن تشكُّل أى مدرك شعورى يتكشف فى زمن، بشكل يماثل عملية تطور صورة فوتوغرافية. تعددية الأحداث المعرفية المتميزة متورطة، لكل منها ديناميكياته الزمنية الخاصة، وتبلغ ذروتها فى تشكيل مُدْرَك. منبثقا من علم النفس التجريبى، يرسم النموذج الجينى المجهرى بشكل طبيعى تماما على آليات بيولوجية عصبية متميزة فى الدماغ.

ترجع التجارب الأولى لدراسة المدى الزمنى للإدراك إلى القرن التاسع عشر. عرض بروجيكتور يسمى تكيستوسكوب tachistoscope صورا لأوقات قصيرة. قارنت الملاحظة إحساسها بسطوع وميض ضوء لمدد متنوعة بإحساسها بسطوع ضوء ثابت بالإشراق ذاته. فُسِّر المنحنى الناتج (الشكل ١٥ ـ 1A) بأنه يعنى أن الملاحظة شعرت بزيادة تدريجية خاطفة فى الإحساس بالسطوع، يتزايد من القاعدة إلى القمة ويستقر فى مستوى متوازن مع المحفِّزات طويلة المدى.





الشكل ١٥ ـ ١ **إدراك ومضة ضوء:** A: السطوع المُدْرَك لومضة ضوء لمدد متنوعة مقارنة بسطوع مصدر ثابت للضوء. فى العرض لأزمنة قصيرة، كان السطوع المدرك مع المحفزات المستمرة لوقت أطول أعلى. لا يتضمن هذا المنحنى أن المدى الزمنى لأى مُدْرَكٍ متقلب. B : المدى الزمنى الافتراضى للنشاط "الحاسم" فى العقدة الأساسية للمدرك السّاطع لمحفز لمدة ثابتة، toff-ton. بمجرد ما يتجاوز Thresholdon، يستمر النشاط العصبى كافيا للامتداد على نطاق واسع فى اللحاء ويعى الشخص السطوع. يُعبَّر عن السطوع حتى تهبط الارتباطات العصبية للوعى تحت Threshholdoff. لاحظ أن المنحنى كله فى B يناظر نقطة فى A.

أشار عالم النفس روبرت إيفرون Efron، فى مستشفى فترناس Veternas فى مارتينز Martinez، كاليفورنيا، إلى أن ذلك خطأ شائع. لا يوضح الشكل ١٥-A١ تطور المُدْرَك فى الزمن، لكنه بالأحرى يمثل بيانيا كيفية الإحساس بسطوع ومضات مختلفة المدد: تعتبر ومضة قصيرة أقل سطوعا من الومضة الأطول إذا كانتا بالقوة ذاتها، وتعتبر بدورها أكثر سطوعًا من ضوء ثابت.(٨) لا دليل على تقلب إدراك سطوع ومضة بشدة ثابتة. ويتفق هذا مع الخبرة اليومية حين ترى نورا يضاء ويطفأ فجأة.

فى القسم ١٥-٣، تناقش إحدى تجارب إيفرون وفيها ومضة حمراء لمدة ١٠ ملى ثانية تلتها مباشرة ومضة خضراء لمدة ١٠ ملى ثانية. لم يذكر الخاضعون للتجربة قط أن الضوء الأحمر يتغير إلى الأخضر، بل رأوا ضوءا مصفرا.

تتسق هذه الملاحظات مع فكرة أن الارتباطات العصبية للوعى تأتى للوجود فجأة، لا تدريجيا. يوضح الشكل ١٥-B١ الأحداث المفترضة التى تحدث فى عقدة أساسية للسطوع، ربما فى موضع ما من اللحاء خارج اللحاء المخطط. يُشيَّد النشاط الحاسم، على سبيل المثال، التأجج المتزامن، حتى يصل إلى عتبة ما. عند هذه النقطة، التى ربما تتجلى بوابل سريع من الشوكات، يكون للنشاط قوة كافية لتنشيط ائتلاف للخلايا العصبية فى مناطق بعيدة من التدرج الهرمى البصرى، بما فى ذلك مناطق بدائية ومناطق فى مقدم اللحاء. يقدم هذا النشاطُ المنتشر بدوره تغذية رجعية، مضخِّمًا الأحداث الموضعية حتى يصل إلى توازن ثابت. عند تلك النقطة، تتوافر معلومات صريحة عن السطوع على نطاق واسع. يرى الشخص الضوء. يعتمد سطوعه المدرك على تفاصيل مجموعة الشفرات فى الخلايا العصبية التى تشكل الارتباطات العصبية للوعى.(٩)

يُخمَد المُدْرَك بوسائل متنوعة: قد تتحرك العينان، وقد تختفى المعلومات الواردة. وقد تتكيف الاستجابات المشبكية والعصبية وتصبح أصغر تدريجيا. يساعد أيضًا التنافس مع المدركات الأولية الأخرى على إخماد الارتباطات العصبية للوعى، حيث على الدماغ أن يمارس تحكما دقيقا لمنع ائتلاف من الهيمنة لوقت طويل جدا.(١٠) تبقى بقايا مباشرة أو غير مباشرة للنشاط السابق للارتباطات العصبية للوعى، من الجمرات المتقدة، لبعض الوقت. وكثيرا ما تُحدَّد هذه الآثار بتقنيات سلوكية حساسة مثل الإعداد (القسم ١١-٣).

قياس الثقة فى حكم إدراك من طرق تقييم درجة الوعى.[١١] خذ السيدة فى التجربة السابقة عن السطوع التى تدفع زرا كلما رأت ضوءا. اسألها الآن عن معدل ثقتها بترقيم قرارها من صفر إلى ٩. إذا كانت متأكدة من حكمها، تُعطَى ٨ أو ٩؛ إذا كانت تخمن، تعطى صفرا أو ١. تحتفظ بالأرقام المتوسطة للدرجات المتوسطة من الثقة. تُصنَّف كل المحاولات فى النهاية بمستوى الثقة. إذا وضع رسم بيانى للأداء فى المهمة باعتباره دالة للثقة، ينتج عادة منحنى متصاعد: حين تخمن السيدة، يكون الأداء أسوأ مما يكون وهى متأكدة من حكمها. كلما كانت أكثر ثقة من رؤية الضوء فى هذه المحاولة، زاد احتمال أن تكون على صواب. كيف تتواءم هذه العلاقة المستمرة مع موقف الكل أو لا شىء، الموقف الذى أناصره؟

يتواصل شيئان هنا. نتيجة التقلبات غير المنضبطة فى حالة انتباه السيدة والعمليات الأساسية فى الدماغ، يتم تجاوز عتبة الرؤية فى بعض المحاولات ولا يتم فى أخرى. ترى ضوءا أو لا ترى. تنبثق ثقتها من وجه مختلف للارتباطات العصبية للوعى، من قبيل طول عمر الائتلاف المرتبط بالموضوع. كلما بقى الائتلاف فى العقدة الأساسية أطول فوق عتبة التشغيل فى أية محاولة، كان من الأسهل استنتاج اشتعال الضوء. أضع فرضية مثالية بأن احتمال تجاوز العتبة لا يعتمد على طول عمر الائتلاف. العمليتان مستقلتان، حدسيتان (ترتبطان عمليا إلى حد ما). وحتى إذا تم تجاوز العتبة فى العقدة الأساسية للسطوع، تتعاون عوامل أخرى لجعل مدة الارتباطات العصبية للوعى أقصر أو أطول (على سبيل المثال، إن شوهد الضوء فى المحاولة الأخيرة، أو إذا فكرت السيدة فى صديقها، أو إذا توترت عيناها). فى ظل هذه الظروف، يتوقع وجود علاقة متزايدة بسلاسة بين الثقة والأداء. فى حالة الوعى الخاطف، يمكن فقط تجاوز العتبة لوقت قصير جدا بحيث يغلب التخمين على السيدة.

حتى الآن، لم أتناول إلا مُدْرَكًا بصفة واحدة، السطوع. لكن الأشياء فى الواقع كثيرة الصفات. يتميز الوجه بوضع، وهوية ونوع، وشعر، ولون بشرة، وزاوية تحديق العينين، وعيوب من قبيل الندوب أو حب الشباب، إلخ. تُمثَّل هذه الأوجه بأسلوب صريح فى العقد الأساسية المرتبطة بها. هل على النشاط فى هذه المواضع المختلفة عبور العتبة فى الوقت ذاته؟ ربما يتطلب هذا نوعًا من التزامن

الدقيق، وهو مطلب ناقشْتُه بوصفه جزءًا من مشكلة الارتباط فى القسم ٩ ـ ٤. لكن ماذا يحدث لو لم يوجد هذا التزامن؟ إذا جاءت أنشطة الارتباطات العصبية للوعى فى العقد الأساسية المختلفة فى أوقات مختلفة، ألا تُدرَك الخصائصُ المرتبطة بها فى أوقات مختلفة؟

يحتمل تماما! تأمل الملاحظات التالية اللافتة لسمير زكى، المستكشف الباسل للحاء خارج اللحاء المخطط الذى ذكرناه أول مرة فى الفصل الثانى. قيَّم زكى وتلاميذه بدقة الإدراك المتزامن لمختلف صفات عرض متغير. وجدوا أن إدراك تغير اللون سبق إدراك تغير الحركة بخمسة وسبعين ملى ثانية. وهذا مدهش؛ خاصة لأن الخلايا العصبية الكبيرة التى تتوسط الحركة تستجيب بسرعة أكبر من الخلايا العصبية فى مسار الخلايا الصغيرة التى تحمل معلومات طول الموجة (الجدول ٣-١).[١٢]

شجعت هذه النتائجُ زكى على استنتاج أن الانسجام المزعوم للوعى، الذى أكد عليه المتصوفة والفلاسفة على حد سواء، قد يكون وهمًا (على الأقل فى هذه الأوقات القصيرة). قد لا يتزامن الإدراك، أو تغير الإدراك، مع مناطق مختلفة تولد الوعى المجهرى للون والحركة والشكل، إلخ، فى أوقات مختلفة.

ألا ينبغى لهذا التباين الفاضح ـ المستمر بانتظام فى إطارين سينمائيين ـ أن يكون ملحوظا؟ إذا نظرْتُ إلى سيارة مسرعة، لا يبدو أن حركتها تتخلف عن لونها. ربما ينبغى أن يكون السؤال: "كيف يمكن للدماغ أن يلاحظ عدم التزامن هذا؟" لا يمكن إلا إذا كانت لديه آلية تميز الاختلافات فى البدء، أو الانتهاء، أو مدة الارتباطات العصبية للوعى فى العقد المختلفة وتمثل هذه الاختلافات صراحة فى عقدة أخرى. دون هذه العمليات، نحس بالسيارة وكل صفاتها فى الوقت ذاته.

١٥ ـ ٣ التقنع يمحو محفزا من الوعى

حتى الآن، تناولْتُ الأحداث العصبية استجابةً لمحفِّز واحد. ماذا يحدث حين يتبع مُدْخَل واحد بسرعة مُدْخَلا آخر؟ فى مناقشة تأثيرات الانتباه الانتقائى فى الفصل التاسع، أخذْتُ الآلام للتأكيد على أن المحفزات تتنافس بعضها مع البعض عند تداخل الأنشطة المرتبطة بها فى الدماغ. لن تدهش إذن إذا علمْتَ أن

الصورة الثانية قد تغير بعمق الصورة التى تُرَى أولا. إذا عرضت الصورتان لوقت قصير متقاربتين زمنيا ومكانيا، قد يحدث شيء غريب: يمكن أن تتقلص المسافات، أو تبدو الأشياء مشوهة، أو تختفى تمامًا. دخلْتَ منطقة الشفق، حيث تُنتهَك المقولات العامة عن الفضاء والزمن والعلية فى خصوصية رأسك.

فى عرض لوقت قصير يندمج المحفزان فى واحد

فى إحدى تجارب إيفرون، عُرِض قرص أحمر صغير لمدة ١٠ ملى ثانية على شاشة، تبعه مباشرة قرص أخضر فى الموضع ذاته، لمدة ١٠ ملى ثانية أيضًا. بدلا من رؤية ضوء أحمر يتحول إلى ضوء أخضر. رأى الملاحظون وميضًا أصفر واحدًا. بشكل مماثل، حين تبع ضوءًا أزرق لمدة ٢٠ ملى ثانية ضوءٌ أصفر لمدة ٢٠ ملى ثانية، أُدْرِكتْ ومضة بيضاء، ولم يُدرَكْ قط تتابع ضوءين تغير لوناهما[١٣]. توضح هذه التجارب وجود فترة دمج. المحفزات التى تسقط خلال هذه الفترة تندمج فى مدرك متكامل ومستمر.

يعتمد مدى فترة الدمج على شدة المحفز، بروزه، ومقاييس أخرى. وطول هذه الفترة غير واضح. إذا عرض ضوء أخضر لمدة ٥٠٠ ملى ثانية وتبعه لون أحمر لمدة ٥٠٠ ملى ثانية، يرى الملاحظون لونًا أخضر يتحول إلى أحمر.[١٤] ربما تكون المدة الحاسمة أقل من ربع ثانية.[١٥]

لا يضيع الترتيب الزمنى لحدثين

لا يعنى هذا أن الدماغ لا يمتلك وسيلة لتمييز هذا التتابع الوجيز. لومضة حمراء خضراء لون مخضر أكثر مما لومضة خضراء حمراء. يمكن أن يميز الدماغ أيضًا بقعة من بقعتين متقاربتين من الضوء تحدث أولا؛ حين تتبع ومضةَ ضوء بعد ٥ ملى ثانية ومضةٌ ثانية فى موضع قريب، ترى البقعة تتحرك من الموضع الأول إلى الثانى. حين يُعكَس الترتيب الزمنى، ينعكس الإحساس بالحركة أيضًا.[١٦]

يعمل الجهاز السمعى بشكل أفضل. إذا صدرت طقطقة، بسماعة أذن، إلى الأذن اليسرى، وبعد بضع مئات من ملى ثانية صدرت طقطقة ثانية فى الأذن اليمنى، تسمع نغمة واحدة، تنشأ فى مكان ما داخل الجمجمة، باتجاه الأذن

اليسرى. حين تأتى الطقطقة الثانية قبل الأولى، يتحول المصدر المُدْرَك للنغمة باتجاه اليمين.

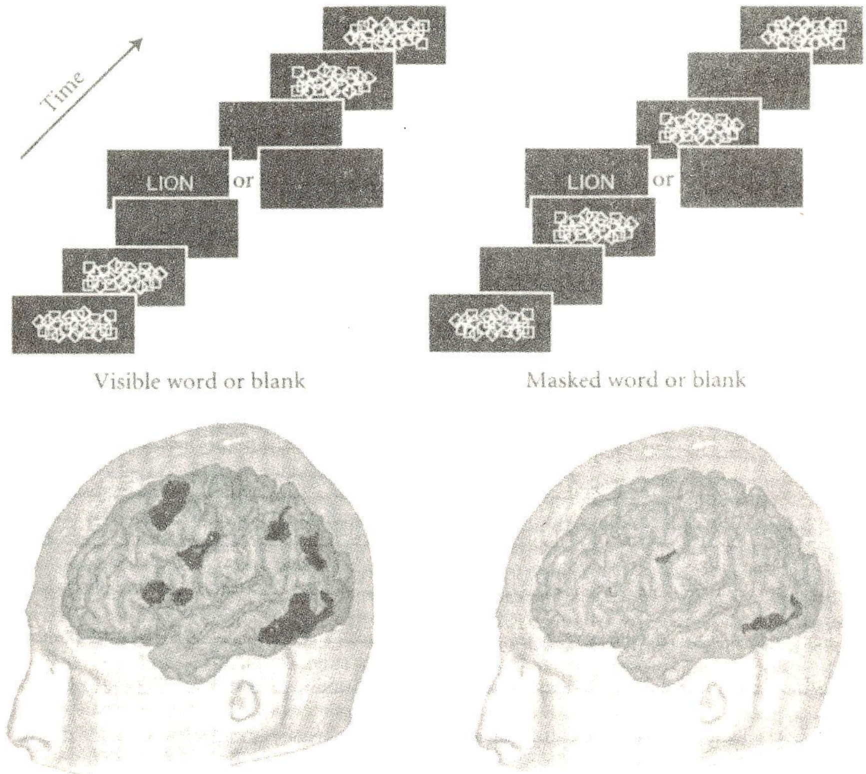
فى الحالات الثلاث كلها يتحول الترتيب الزمنى للأحداث إلى بعد إدراكى. يمكن تسوية الوجود المشترك بشكل يبدو متناقضًا لعتبات تمييز الترتيب بشكل حساس مع فترات دمج فى حدود ١٠٠ ملى ثانية بافتراض آليات تمييز مسئولة عن هذه المهام المختلفة. يفترض أن وظائف كثيرة، مهما تكن متواضعة، تؤدى بعمليات عصبية متميزة. كل منها محدود فى مجاله ويقوم غالبا بوظيفة واحدة، وليس، كما قد يُتوقَّع، وظيفتين متماثلتين ظاهريا.

التقنع يمكن أن يخفى محفزًا

التقنع أداة شائعة لجس الإدراك (انظر القسم ٦ ـ ٢ والقسم ١١ ـ ٢). ويشير إلى قدرة محفِّز، **القناع**، على التداخل مع معالجة محفِّز ثانٍ، **الهدف**. يكشف التقنع إمكانية فصل القرابة بين حدثين فى العالم الفيزيائى وطريقة إدراكهما بشكل جذرى تماما عن الواقعية الساذجة، مما يجعله وسطًا ثريا لاستكشاف طبيعة الوعى.(١٧) الشكل الأكثر شيوعا هو **التقنع الخلفى** وفيه يتبع القناعُ الهدفَ. يمكن أن يكون عمل القناع قويا جدا بحيث تختفى الصورة الأولى تماما، لا تُرَى أبدًا. وفى **التقنع الأمامى**، يحدث العكس ويسبق القناعُ الهدفَ.

استخدم عالم النفس المعرفى الفرنسى ستنيسلا دنيه Dehaene وزملاؤه فى باريس التقنع لمقارنة تأثيرات الكلمات المرئية وغير المرئية على الدماغ. يوضع المتطوعون داخل جهاز أشعة مغناطيسية ويُمطَرون بتيار من الصور تشمل شرائح لكلمات بسيطة، تضاء كل منها ٢٩ ملى ثانية. فى حالة (الشكل ١٥-٢، إلى اليسار)، كانت الكلمات مقروءة بوضوح. حين سُبِقت شريحة كل كلمة وتُبِعتْ بقناع (خلطة عشوائية من الحروف والرموز)، لم ير المتطوعون كلمة (الشكل ١٥-٢، إلى اليمين).

تأمل الاختلاف المذهل فى تدفق الدم.(١٨) بينما أضرم المحفز غير الشعورى استجابة ما فى اللنيفة المغزلية (جزء من التيار البطنى)، كانت الاستجابة أكبر بكثير عند إدراك الكلمات بوعى. أثار أيضًا إدراك الكلمات نشاطا إضافيا متعدد البؤر على نطاق واسع فى مناطق جمة من الفص الجدارى الأيسر ومقدم الفص الجبهى.



الشكل ١٥ ـ ٢ **تأثير التقنع البصرى**: استجابة الدماغ لكلمات مرئية وغير مرئية. تطلع المتطوعون إلى تيار من الصور، عرضت كل كلمة لمدة ٢٩ ملى ثانية (كل الأطر الأخرى عرضت لمدة ٧١ ملى ثانية). فى حالة (الجانب الأيمن)، لم تر كلمات، حيث إن كل كلمة سُبِقت وتُبِعتّ بشريحة مغطاة برموز عشوائية، تخفى الحروف على مستوى الإدراك. حين أزيلتّ هذه الأقنعة (الجانب الأيسر)، رأى المتطوعون الكلمات. كانت أدمغتهم أنشط بكثير، كما قيست بصور الرنين المغناطيسى (قورن النشاط التالى لسلسة الصور مع الكلمات بسلاسل مع الفراغات). نشطت كل من الكلمات المرئية والمقنَّعة مناطق فى المسار البطنى الأيسر، لكن بقيمة مختلفة تماما. أطلق الإدراك الشعورى نشاطًا إضافيا على نطاق واسع فى اللحاء الجدارى الأيسر ولحاء مقدم الفص الجبهى. معدل عن Dehaene et al., 2001.

يمكن تفسير التقنع بالتنافس بين المحفزات التى تنشّط شبكات متداخلة من الخلايا العصبية. يمنع التقنع الموجة الشبكية التى يطلقها المحفز من التوغل بعمق فى اللحاء كما تفعل موجة شبكية لمحفز غير مقنَّع.(١٩)

ما يثير التفكير فى التقنع الخلفى هو أن مُدْخلا واحدا يمكن أن يؤثر فى المدرك الذى أطلقه مُدْخل سابق. كيف يحدث هذا؟ كيف يتداخل نشاط القناع مع الارتباطات العصبية للوعى بهدف يسبقه دائمًا بتسعة وعشرين ملى ثانية؟ فى شبكة دون ارتباط تغذية رجعية، ألا تطارد الموجة الشبكية التى يطلقها القناع باستمرار الموجة الشبكية الناتجة عن الهدف؟ وإذا كانت الارتباطات العصبية للوعى تعتمد على حلقات التغذية الرجعية اللحائية - اللحائية أو اللحائية - المهادية، يمكن أن يؤثر مُدْخَلٌ تالٍ فى معالجة محفز سابق. وقد يعتمد امتداد هذا التأثير للخلف زمنيا على التأخير فى هذه الحلقة.

سلوكيا، يمكن أن تمتد مدة تأثير التقنع إلى ١٠٠ ملى ثانية. أى إن قناعا لا يومض على شاشة حتى عُشْر ثانية بعد الهدف الذى ظهر أولا يمكن أن يؤثر فى إدراك الهدف.

ربما يمنع التقنعُ الخلفى تكوُّنَ مُدْرَك، لكنه ربما لا يستبعد المعالجة التى لا تُدرَك، كما حين تشعر المتطوعة بأنها تخمن لكنها تؤدى بشكل أفضل من الصدفة فى اكتشاف الضوء. ربما تعتمد المعالجة اللاشعورية فى المحاولات المقنَّعة، أساسًا، على نشاط التغذية الأمامية.(٢٠)

يقدم **وهم تأخر الوميض** مزيدًا من الدعم لفرضية أن الوعى يتطلب وقتًا إضافيا، مشيرا لدوائر التغذية الرجعية. يبدو أن خطًا أو بقعة من الضوء، تومض لحظة وصول خط آخر يتحرك باستمرار أو بقعة للموضع ذاته، تتأخر خلف الهدف المتحرك. أى إنه حتى لو كان الهدفان فى الموضع نفسه فى الوقت ذاته، يبدو المحفز المتحرك أمام المتحرك الوامض. وفُسِّر هذا التأثير بأنه يتضمن أن الوعى لا يستسلم لمُدْرك قبل ٨٠ ملى ثانية (أو أكثر) بعد حدوث الحدث. (٢١)

يستغرق الأمر ربع ثانية على الأقل لترى شيئًا

إضافة هذه الـ١٠٠ ملى ثانية المستنبطة من التقنع الخلفى إلى الـ١٥٠ ملى

ثانية الضرورية للموجة الشبكية للانتشار من الشبكية إلى المناطق البصرية العليا فى المسار البطنى (القسم ١٥-١) يجعلنا نقدر ربع ثانية تقريبا زمنًا أدنى مطلوبا حتى نرى شيئا.

فى إطار الشكل IB-١٥، ٢٥٠ ملى ثانية هى الفترة بين بداية المحفز وتأسيس الارتباطات العصبية للوعى المرتبطة به، Ton-ton. اعتمادًا على خصائص المحفِّز، ما يُرَى فى الماضى القريب، واعتمادًا على تقلبات نشاط اللحاء، يمكن أن يكون هذا الزمن أطول، لكن ربما لا يمكن أن يكون أقصر.[٢٢] يتبع الإدراكُ الواقعَ دائما بفترة معقولة، ويمكن أن تتغير الأحداث على الأرض بسرعة كبيرة بحيث لا يمكن للارتباطات العصبية للوعى أن تواكبها تماما، مما يفسر الكثير من ظواهر الإدراك المريك. يمكن للعوامل الزومبية، من ناحية أخرى، أن تعمل بشكل أكثر خفة.

متطلعين إلى الجانب المنير، ربما تسمح فترة الدمج للارتباطات العصبية للوعى بالاعتماد على أكثر من المُدْخَل المباشر. ربما يفيد الزمن الإضافى للمعالجة فى استعادة الذكريات الصريحة أو المواد التى تدور فى الحاجز قصير المدى وتجسدها فى المُدرَك النهائى. أو، إذا عارضت معلوماتٌ حسية إضافية وصلت فى آخر ١٠٠ ملى ثانية المعلوماتِ الأصليةَ، يتخلق مدرك جديد مندمج. حين تتغير الأحداث بسرعة، قد يكون من الأفضل الانتظار حتى نكتشف كيف يتطور الوضع قبل تقديم تفسير خاص لما يحدث هناك.

النشاط الأمامى مقابل نشاط التغذية الرجعية

يعزز التقنع الأمامى فكرة أن المعالجة غير الواعية قد تتأسس على نشاط أمامى مؤقت، سريع الزوال بدرجة لا تجعله ينهمك فى تخطيط الوحدات. ربما تتوسط هذه الطريقةُ فى المعالجة السلوكياتِ الزومبيةَ بلا وعى. فى المقابل، ينبغى أن تشمل المعالجة الواعية تغذية رجعية من مقدم اللحاء إلى مؤخره.[٢٣]

تأمل لاعب بيسبول، فى انتظار ضرب كرة تقترب. يبدو صورة مظللة تطلق موجة شبكية تصعد التدرج البصرى، إلى اللحاء البصرى الأولي والمنطقة الصدغية الوسطى وما بعدهما. فى موضع ما على طول الخط، يتخذ قرار ـ

يميل المضرب أم لا يميله - وينتقل إلى الخلايا العصبية الهرمية فى الطبقة الخامسة التى تمتد إلى العقد القاعدية والحبل الشوكى والعضلات المناسبة. ويحدث هذا كله دون أن يشمل الوعى. الأفعال الزومبية للاعب أسرع من إدراكه الواعى (القسم ١٢ - ٣).

لن يرى الكرة المقتربة حتى تستقبل الخلايا العصبية فى مقدم لحائه مع مدخل للذاكرة العاملة والتخطيط المعلومات البصرية وتقدم بدورها تغذية رجعية لخلايا فى الأجزاء العليا من التدرج البصرى. تعزز هذه الشوكاتُ النشاطَ فى العقد الأساسية فى الخلف، مما يقوى النشاط الجبهى أكثر. ربما تعمل هذه الحلقة للتغذية الرجعية، التى تتضخم ذاتيا، بسرعة كبيرة بحيث تتصرف مثل عتبة لكل النوايا والأغراض. من خلال أفعالها، تجمِّع وتثبِّت ائتلافًا واسع الانتشار (كما فى الشكل ١٥-٢) شبه ثابت فى اللحاء الجدارى الخلفى، والمنطقة الصدغية الوسطى، والمطوقة الأمامية، ولحاء مقدم الفص الجبهى، واللحاء قبل الحركى. ويُحس هذا الائتلاف مثل كرة تبدو بسرعة.[٢٤] إذا كنْتَ فيزيائيا، ربما يكون من المفيد اعتبار هذا النشاط الانعكاسى موجة واقفة فى وسط غير خطى.[٢٥]

توجد مواضع وسيطة أيضًا. وضارب الكرة يركز على الرامى، منتظرًا أن يلقى بالكرة، يتحرك الرفاق والمشاهدون فى الخلفية. تؤدى هذه الصور المتغيرة باستمرار إلى تكوين تجمعات مؤقتة جدا فى المنطقة البصرية الرابعة، واللحاء الصدغى السفلى، ومواضع أخرى (الأشياء الأولية المذكورة فى الفصل التاسع). إذا لم تُدعَم قوة هذه الائتلافات بالانتباه لها، يتحلل نشاطها بسرعة وتظهر ائتلافات جديدة مكانها. وهكذا، فى أفضل الأحوال، لا يشعر ضارب الكرة إلا بمستوى سريع الزوال من الوعى بأحداث الخلفية.

كيف تُقيِّم هذه الأفكار؟ التغذية الرجعية اللحائية - اللحائية واللحائية - المهادية مثيرة، تستخدم الجلوتاميت ناقلا عصبيا. ومن المؤكد تقريبا أن مسار التغذية الرجعية المشبكية يتضمن أنواعًا فرعية مختلفة من الجلوتاميت أكثر مما يتضمنه المسار الأمامى. أم أن بروتينات مختلفة ترتبط بالمشابك فى هذه المسارات المميزة. تنشغل المختبرات فى كل أرجاء العالم باستهداف هذه

البروتينات للتدخل الجزيئى الذى قد يتداخل مع وظيفة نوع فرعى واحد من مستقبلات الجلوتاميت. يمكن تعديل الفئران أو القرود بالهندسة الوراثية بحيث يمكن لارتباطات التغذية الرجعية أن تسكن فترة وجيزة، وتصبح مستحيلة، دون تأثير فى الارتباطات الأمامية أو الجانبية. ربما تظل هذه الحيوانات الزومبية تؤدى السلوكيات المكتسبة والغريزية، ولا تؤدى السلوكيات التى تتطلب وعيًا.

١٥ ـ ٤ التكامل وتحفيز الدماغ مباشرة

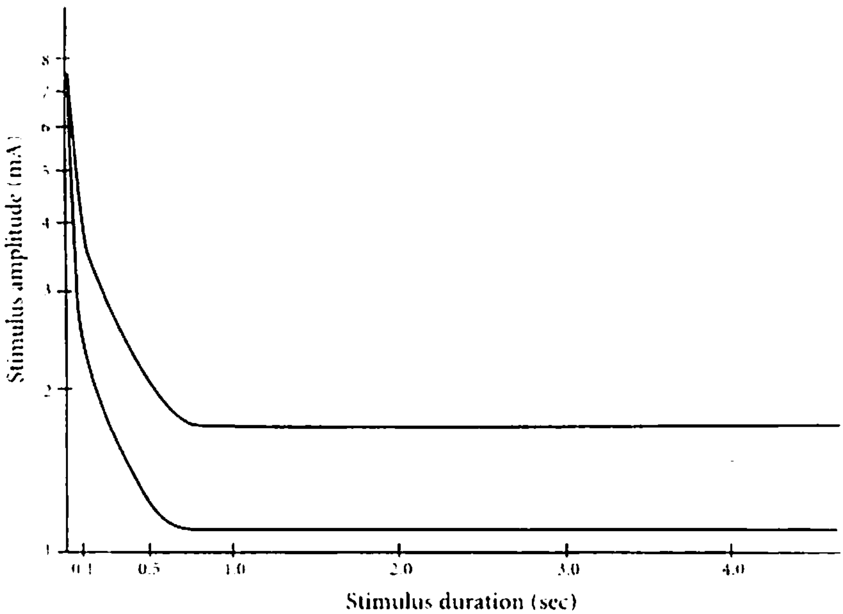
تدعم تجارب جراحة الأعصاب التأملات فى وجود كل من العتبة وفترة الدمج للإدراك. فى ستينيات القرن العشرين، أجرى عالم النفس بنيامين ليبت[٢٦] فى مدرسة الطب بجامعة كاليفورنيا فى سان فرنسيسكو برنامجا بحثيا على توقيت الخبرة الواعية. [٢٧]

أجريت عمليات جراحية بفتح الجمجمة فى مرضى يعانون من مرض باركينسون أو آلام مبرحة. لأسباب إكلينيكية، جس جراح المخ والأعصاب السطح المكشوف للحاء الحركى الحسى واللحاء المرتبط به بقطب كهربى أرسل نبضات من التيار إلى المادة السنجابية تحته. سجل ليبت أقل شدة تيار، أقل منها لا يُنتَج إحساس أو شعور، بصرف النظر عن مدة استخدام المحفز الكهربى. اختلفت طبيعة الأحاسيس، كما ذكر المرضى، تلقائيا، وشملت التنميل والشكشكة والوخز والذبذبة، والإحساس بالدفء والبرد، واللمس والحركة والضغط.

أكد ليبت بشدة على صفة الكل أو لا شىء فى الإدراك الشعورى: "ظهرت خبرة حسية بعد تنشيط لوقت طويل بشكل كاف حتى لو كان ضعيفا جدا، أو لا يوجد إطلاقًا مع تنشيط لوقت أقل."[٢٨] إضافة إلى ذلك، اكتشف ليبت أنه للحصول على أقل إحساس، ينبغى أن تختلف شدة التيار عكسيا مع مدته (الشكل ١٥ ـ ٣). وهكذا، تتطلب المحفزات الضعيفة أوقات تحفيز أطول من المحفزات الأقوى.

اعتبر ليبت هذه الملاحظات حجر الزاوية فى نظريته عن **زمن التشغيل**. يرى أن الانتقال من حدث غير واع إلى حدث واع يتطلب زيادة كافية فى مدة الأنشطة العصبية المناسبة. حين تستمر هذه الأنشطة أطول من أدنى زمن، تكفى للوعى.

حين تأملنا أنا وفرنسيس المنحنى فى الشكل ١٥-٣ افترضنا أننا نستطيع أن نستخدم بشكل مناسب نموذجًا رياضيا يفترض أن التيار الكهربى يجعل مادة ما تتجمع حتى تصل إلى العتبة وتتولد الارتباطات العصبية للوعى. كلما ارتفعت شدة التيار، كان الوصول إلى هذه القيمة أسرع وكان شعور المريض أسرع.(٢٩)



الشكل ١٥ ـ ٣ التحفيز الكهربى للحاء الحركى الحسى: حفَّز ليبت اللحاء المكشوف لمرضى جراحة المخ والأعصاب مباشرة. أدنى شدة محفز ضرورية ليحس مرضاه بشىء (عادة، تنميل أو لمس أو ذبذبة) رسمت بيانيا فى دالة لزمن بقاء حقن التيار (كان للقطب الكهربى المستخدم للحصول على قاع المنحنى ضعف معدل نبضات القطب الكهربى فى أعلى المنحنى). كلما قلت الشدة، ينبغى استخدام المحفز الاصطناعى وقتا أطول لينشأ إحساس ما. معدل عن .Libet, 1966

النتائج الميكانيكية لهذه النوبة مثيرة. يثير قطب المحفز، موضوعًا على قمة الطبقة الأولى، كثيرًا من الخلايا العصبية تحته. نتيجة الطبيعة غير المميزة لهذا الوضع الاصطناعى، تفرِّغ الخلايا المثيرة والكابحة ويكون تأثيرها المتبادل ضئيلا (لأن كلا منها تلغى الأخرى جزئيا). وهذا يحدث، يتشكل تكيف فى الخلايا تحت القطب الكهربى. تتحلل معدلات تأجج هذه الخلايا ببطء - على سبيل المثال، نتيجة تدفق أيونات الكالسيوم إلى أجسامها. إذا تناقص معدل تأجج الخلايا الكابحة بسرعة أكبر من معدل تأجج الخلايا المثيرة، فربما يتوقف الكبح، فى نقطة ما، ليحفظ الإثارة بشكل مناسب تحت المراقبة. حين يحدث هذا، تتجاوز الإثارة بسرعة الحدود العادية وينتج عنها حدث غريب يشعر به المريض. وكأن قطب الجراح أحدث "نوبة صرعية ضئيلة" أطلقت الارتباطات العصبية للوعى. تبقى مسألة بقاء هذه العملية محصورة فى منطقة موضعية، أو انهماكها فى نشاط منتشر فى مواضع بعيدة، غير واضحة.

١٥ ـ ٥ هل الإدراك متقطع أم متصل؟

كانت الفرضية الضمنية حتى هذه النقطة أننا نشعر بالعالم متصلا: تنعكس الطبيعة المتصلة لخبرة الإدراك فى التقلب السلس للارتباطات العصبية للوعى؛ أى والعالم يتغير، تتغير الارتباطات العصبية للوعى بشكل مماثل (فى حدود يفرضها بروز الإشارات السريعة).

ليس هذا هو الاحتمال الوحيد. ربما يحدث الإدراك أيضًا فى فترات معالجة متقطعة، **لحظات إدراك، أو أطر إدراك، أو لقطات إدراك**. يمكن أن تكون حياتك الذاتية سلسلة لا تتوقف من هذه الأطر، لا تنتهى أبدًا، حتى لحظة الاستغراق فى نوم عميق.(٣٠)

فى تلك اللحظة، يكون إدراك السطوع واللون والعمق والحركة متصلا. فكِّر فى حركة مرسومة على كل لقطة (الشكل ١٥ ـ ٤). لا تُحَس الحركة لأن التغير فى الوضع بين لقطتين متتاليتين، كما فى الأفلام أو بواسطة المريضة ل. م. المصابة بعمى الحركة (القسم ٨ ـ ٣)، لكنها تُمثَّل فى لقطة واحدة.

إذا وصلت معلومات جديدة، مثلا لمجرد تحرك العينين، تطلق موجة شبكية توضع شوكاتها فوق العمليات الأساسية المستمرة فى الدماغ. يتشكل النشاط فى العقدة الأساسية لصفة حتى يتأسس ائتلاف مهيمن وتتكون الارتباطات العصبية

للوعى. إذا استمر الشخص فى الانتباه إلى المحفز، فإن ديناميكيات الجهاز، التى عليها غلق الارتباطات العصبية للوعى وتشغيلها بانتظام مرة أخرى، تكون متصلة فى لحظة إدراك، لكنها تتغير من لحظة إلى أخرى قبل الوصول إلى وضع جديد شبه مستقر. وحيث إن غالبية العمليات العصبية تتطور بأسلوب أكثر نمطية، فإن عمليات التشغيل والتوقيف علامة مبشرة بالارتباطات العصبية للوعى.

ثمة قدر هائل من البيانات السيكولوجية فى صالح الإدراك المتقطع، مع تغير مدة كل لقطة، وتستمر ٢٠ ـ ٢٠٠ ملى ثانية. ليس واضحا إن كان هذا التغير الهائل (عشرة أضعاف) يعكس طبيعة نقص الأدوات المستخدمة فى جس الدماغ، أو تعدد العمليات الكمية مع مدى فترات المعالجة، أو عملية واحدة مع فترة دمج بالغة المرونة، أو شيئًا آخر. أكثر التلميحات إلحاحًا الدوريات فى أزمنة رد الفعل[٣١] ووهم الحركة المذهلة حيث تُرَى الأشياء التى على أبعاد منتظمة، أحيانًا، تتحرك فى عكس اتجاه الحركة الفيزيائية.[٣٢]



الشكل ١٥ ـ ٤ **الإدراك المتقطع للحركة**: تفترض فرضية اللقطة أن الإدراك الواعى للحركة يُمثَّل بالنشاط الثابت (القريب) لبعض الارتباطات العصبية للوعى فى النوى الأساسية للحركة. يقدم الشكل، وهو من رسم أوديل كريك Crick، قياسا تمثيليا مفيدا. يوضح كيف يمكن أن توحى صورة ساكنة بالحركة، بشكل يماثل بناية فرانك جهرى.[٣٣]

الخاصية الأساسية لفترات المعالجة المتقطعة أن الأحداث التى تسقط فى صندوق واحد تعتبر متزامنة. إذا حدث حدثان فى إطارين متتابعين، ربما يُحسان كأنهما يحدثان واحدا بعد الآخر. وُجِدتْ اختبارات بارعة لهذه الفرضية باستخدام ومضتين من النور تُريان فى بعض المحاولات مثل ومضة واحد، وفى أخرى مثل ومضتين متتابعتين.(٣٤) تختلف أصغر فترة بين محفزين لإدراك حدثين متعاقبين بشكل متسق باعتبارهما متزامنين من ٢٠ ملى ثانية إلى ١٢٠ ملى ثانية.(٣٥) كما رأينا من قبل، هذه أوقات طويلة نسبيا تتسق مع وجود دوائر متخصصة يمكن أن تحل اختلافات زمنية ضئيلة.

كثيرا ما رُبِطت لحظات الإدراك بموجات الدماغ فى معدل ألفا (٨-١٢ هرتز)، ويفترض أن إيقاعها مسئول عن المعالجة الزمنية المتقطعة. إضافة إلى ذلك، يعتقد أن مرحلة موجة ألفا تتجدد بمعلومات خارجية تطلق بداية فترة جديدة للدمج. (٣٦)

بعد أن نشرنا أنا وفرنسيس هذه الملاحظات، استلمنا تعليقا مذهلا من طبيب الأعصاب أوليفر ساكس Sacks عما يسميه الرؤية السينمائية. يمكن لهذا الاضطراب العصبى النادر أن يتجلى فى الصداع النصفى البصرى. جرب ساكس هذه النوبة مباشرة. وليس أمامى أفضل من اقتباس وصفه المثير:

> طلبْتُ منها أن تنظر فى صورة، تتحدث، تلمح، ترسم وجوهًا، أى شىء، وهى تتحرك. والآن، لبهجتى المختلطة وقلقى، أدركْتُ أن الزمن كان ممزقا، ليس أقل من الفضاء، لأننى لم أر حركاتها مستمرة، وبدلا من ذلك رأيتها تتابع "سكنات"، تتابع صورا ومواضع مختلفة، لكن دون حركة بينها، مثل ومضات فيلم (النقرات "flicks") تسير ببطء شديد. بدا أنها متحجرة فى حالتها السينمائية الفسيفسائية الغريبة، وكانت أساسًا محطمة، غير مترابطة، ومفككة.

ببصيرة، غامر ساكس، "يشير مصطلح الرؤية السينمائية إلى طبيعة الخبرة البصرية حين يُفقَد وهم الحركة." ثمة أحداث مماثلة غربلها الزمن، ابتعاد جذرى

عن الزمن المتدفق باستمرار من منظور فيزيائى، يمكن أن يحدث فى حالات مرَضية أخرى. يقارنه المرضى بأفلام تتحرك ببطء شديد.(٣٧) ربما أوقف الصداع النصفى مؤقتا نشاط مناطق الحركة فى اللحاء، فحرم ساكس ومرضاه من وهم الحركة. تبقت مدركات ممزقة زمنيا. ومن المثير أن هذه الحالة يمكن توليدها بشكل يمكن عكسه فى المتطوعين بمساعدة التحفيز المغناطيسى عبر الجمجمة أو تقنيات أخرى غير مؤذية.(٣٨)

إذا حدث الإدراك الواعى فى لحظات متقطعة، فربما يرتبط إدراك مرور الوقت أيضًا بمعدل حدوث اللقطات. إذا طالت اللحظات الفردية، قل عددها فى الثانية الواحدة. وبافتراض أن حدثا خارجيا يظهر ليبقى وقتا أقصر، يسرع الوقت. بالعكس، إذا قصرت مدة اللقطة، يحدث المزيد منها فى وحدة الزمن وتُقسَّم الآن الثانية الواحدة إلى لقطات أكثر ويبدو الأمر أنها مرت بشكل أبطأ.(٣٩)

تسمى هذه الظاهرة الأخيرة المدة المطوَّلة وكثيرًا ما يُعلَّق عليها فى سياق الحوادث، والكوارث الطبيعية، والأحداث العنيفة الأخرى التى يبدو الوقت فيها بطيئا جدا. يشيع استخدام تعبيرات مثل: "وأنا أسقط رأيت حياتى تومض أمامى"، "استغرق الأمر دهورًا ليحمل البندقية ويوجهها إلى". ومن التقليدى الآن فى الأفلام أن تُعرَض هذه المشاهد بالحركة البطيئة؛ تستخدم أطرًا أكثر لبعض الأحداث، مثل رصاصات تسقط من خزانة البندقية، وتعكس خبرة الشخص الأول أكثر مما يحدث فى بقية الفيلم. هل يقلص الانتباه المطول من أعلى إلى أسفل، كما يحدث فى هذه المواقف، مدة اللقطات الفردية؟ (٤٠)

كيف تؤثر العلاقة الزمنية بين بداية المحفز ومرحلة اللقطة فى المعالجة؟ إذا تتابعا عشوائيا، فقد يفسر ذلك التغير الدائم فى أزمنة رد الفعل. إذا حدد زمن المُدْخَل ليصل فى اللحظة ذاتها من بداية اللقطة، هل تتقلص هذه القفزة؟(٤١) هل تفضى الأصوات أو الأضواء الدورية إلى لحظات الإدراك؟(٤٢)

إذا كانت المعالجة الكمية محدودة لأقلية من الخلايا العصبية متورطة مع الارتباطات العصبية للوعى، فمن الصعب تحديد ذلك بتقنيات رسم المخ الكهربى EEG، أو تصوير نشاط الدماغ بتحديد المجال المغناطيسى MEG، أو التصوير

الوظيفى بالرنين المغناطيسى، وتعتمد كلها على مقاييس كتلة الأنسجة. حتى الأقطاب المجهرية التى تسجل عدة خلايا عصبية لن تلتقط هذه المعالجة الكمية إذا لم توجه للائتلافات المناسبة ولا تغرس عميانا فى النسيج. يتطلب الأمر وسيلة ضوئية أو كهربية يعول عليها لتحديد تسجيل متزامن من مئات أو أكثر من الخلايا العصبية اللحائية والمهادية فى كل أرجاء الدماغ لوصف أنماط التأجج الدورى.

١٥ ـ ٦ الملخص

الدماغ البصرى سريع. يمكن أن يميز صور الحيوانات من صور غير الحيوانات فى ١٥٠ ملى ثانية ويعالج هذه المعلومات فى أقل من نصف ثانية. ويستغرق الأمر وقتا أطول لرؤية الحيوان بوعى ـ ربما ٢٥٠ ملى ثانية على الأقل.

من المرجح أن يكون الإدراك الواعى كاملا أو لا يكون. ويتضمن هذا أن الارتباطات العصبية للوعى فى أى موضع تتشكل فجأة، بتجاوز عتبة ما.

لا تدرك المحفزات الوجيزة باعتبارها تنشأ فى زمن. عند متابعة حدثين قصيرين، يدمجهما الدماغ فى مُدْرَك واحد ثابت. فى التقنع الخلفى، يمكن أن تتداخل تماما صورة مع صورة سابقة، وتحول دون رؤيتها. ويمكن تفسير ذلك بسهولة بافتراض أن بعض النشاط الحاسم فى عقدة أساسية يتجاوز عتبة ـ ويكفى لمُدْرَك واعٍ ـ فقط بمساعدة التغذية الرجعية من مقدم الدماغ. يتضمن الوقت الإضافى للمعالجة، حوالى ١٠٠ ملى ثانية، أن الإدراك ليس واقعا معدّلا وبطيئا.

عززت تجاربُ تحفيز الدماغ، التى قام بها ليبت Libet، هاتين الإشارتين الحيويتين عن أن الارتباطات العصبية للوعى يتطلب تكوينها نشاط تغذية رجعية لتتجاوز عتبة.

ناقشْتُ الاحتمال المحيِّر بأن الإدراك والارتباطات العصبية للوعى لا تنشأ متصلة، كما يبدو فى الواقع، بل متقطعة. وخاصية الإدراك ثابتة فى فترة معالجة واحدة، لقطة واحدة. ما تشعر به فى نقطة من الزمن ساكن (مع حركة "مرسومة"

على اللقطة)، حتى لو تغير المحفِّز. تؤيد بعض البيانات من الأدبيات السيكولوجية والإكلينيكية ورسم المخ الكهربى هذه الفرضية. وربما يساعد ذلك على تفسير بعض الملاحظات المحيرة المتعلقة بإدراك مرور الوقت.

أنتقل الآن إلى تجارب فى صميم العلم البدائى عن الوعى، مما يساعد فى تحديد دقيق لخلايا الارتباطات العصبية للوعى لإدراك الشىء فى اللحاء الصدغى السفلى وما وراءه.

الهوامش:

(١) مركز أبحاث الدماغ والمعرفة Centre de Recherche Cerveau et Cognition ؛ تولوز Toulouse: مدينة فى جنوب فرنسا (المترجم).

(٢) وصفت الدراسة الأصلية فى Thorpe, Fize and Marlot, 1996. كان متوسط زمن رد الفعل لضغط الزر ٤٥٠ ملى ثانية. تعتمد أزمنة رد الفعل على تعقُّد المعالجة الحسية ونوع الاستجابة الحركية المطلوبة (Luce, 1986) وقد تنخفض إلى ٢٥٠ ملى ثانية (VanRullen and Thorpe, 2001) أثبتت التجارب الضابطة عدم وجود شىء خاص بالحيوانات' لأن الأمر استغرق وقتا قصيرا سواء وجدت أم لم توجد مركبة فى المدينة أو مشاهد الطريق السريع.

(٣) ثمة اختلاف لافت بين الأدمغة والكمبيوترات يتضح بمدى ما يستغرق الكائن لإنجاز مهمة معينة مقارنة "بسرعة تحول" المشغلات (الخلايا العصبية مقابل الترانزستورات). تكون هذه النسبة أقل من ١٠٠ حين تتعرف على وجه لكنها بالبلايين فى حساب آلى للرؤية فى أحدث الكمبيوترات. الاختلاف نتيجة لطبيعة التوازى الهائل للأدمغة .(Koch, 1999)

(٤) يستجيب الأشخاص بالسرعة ذاتها للأشكال الهندسية البسيطة، سواء كانوا على وعى بها أم لا. ويوضح هذا أن أزمنة رد الفعل يمكن استبعادها تماما من الوقت الضرورى لتحقيق الوعى (Taylor and McCloskey, 1990).

(٥) ينص قانون بلوتش Bloch على أن مع المحفزات التى تستغرق أقل من عُشْر ثانية، يعتمد السطوع المدرك على نتاج شدة المحفز ومدته. أى إن السطوع ذاته للمدرك يَنتُج إذا عُرِض المحفز نصف المدة بشرط مضاعفة شدة المحفز.

(٦) بلاس أثينا Pallas Athena: أثينا، ربة الحكمة والفنون، وزيوس Zeus كبير الآلهة فى الأساطير اليونانية (المترجم)

(٧) .Bachmann, 1994, 2000 لاحظْ أن الجينية المجهرية هنا تشير إلى تحليل زمنى دقيق لأصل (تكوُّن) الإدراك وليس عملية وراثية. أوصى بحرارة بكتاب Bachmann, 2000 لأنه يقدم خلاصة جلية وشيقة تماما لأشهر النظريات السيكولوجية والبيولوجية عن الوعى.

(٨) .Broca and Sulzer, 1902 للاطلاع على جولة شاملة فى الأدبيات المتصلة بالتطور الزمنى للإحساس، انظر Efron, 1967؛ .Bachmann, 2000

(٩) يكشف الفحص الدقيق للمنحنى التخطيطى للارتباطات العصبية للوعى فى الشكل ١٥-1B تغيرات زمنية دقيقة فى النشاط المتجاوز العتبة. وقد تلتقط مثل هذه التغيرات جيدا بآلية واضحة بعد مشبكية وقد تؤثر فى النهاية على السلوك. إذا كانت الآلية المسئولة عن الارتباطات العصبية للوعى غير حساسة للتغيرات الزمنية فى الأنشطة المتأججة فى العقدة الأساسية، يستمر الشخص فى الإحساس بخبرة ثابتة.

(١٠) بضعة استطرادات تقنية: نتيجة لظاهرة يسميها علماء الفيزياء التباطؤ hysteresis، ربما تكون عتبة الانطفاء أقل من عتبة التكوين (كما فى الشكل ١٥-A1). يلمِّح التباطؤ إلى الاعتماد التاريخى لجهاز. حين يزداد المُدْخَل، يزداد النشاط المتأجج بشكل ثابت حتى يصل إلى عتبة، حين يقفز فجأة إلى مستوى أعلى بكثير. وحين تنقص المعلومات الواردة مرة أخرى، لا تحدث القفزة العكسية إلى المستوى الأقل من النشاط حتى يحدث انخفاض أكثر بقليل فى قيمة المُدْخَل. يحتمل أن تكون عتبتا التشغيل والتوقيف فى الشكل ١٥-١ Bديناميكيتين، معرضتين للتجدد. بمجرد تجاوز عتبة التشغيل بشكل كافٍ لمدرك شعورى- حدث عصبى قد يتميز بدفعة من الشوكات- ربما يستغرق الأمر وقتا ضئيلا للتجمع العصبى ليهبط تحت عتبة التوقيف. أى إن الارتباطات العصبية للوعى ربما يكون لها حد أدنى فى حياتها. ادعى علماء النفس وجود أضأل لحظة إدراك (على سبيل المثال .(Efron, 1970b, 1973a) من منظور رياضى، ربما لا تحدث خاصية الكل أو لا شىء فى الإدراك بعتبة حقيقية لكنها قد تعكس جزءا منحدرا متضخما ذاتيا من منحنى الاستجابة.

(١١) انظر Kolb and Braun, 1995 أو Kunimoto, Miller and Pashler،2001

(١٢) انـظـر Moutoussis and Zeki, 1997a, b؛ Zeki and Moutoussis, 1997. ذكر Arnold, Clifford and Wenderoth, 2001 نتائج مماثلة. يناقش Zeki, 1998؛ Zeki and Bartels, 2002 نتائج فى الإدراك غير المتزامن. كانت عمومية هذه النتائج موضع شك (Nishida and Johnston, 2002). عند تفسير هذه البيانات، على المرء توخى الحذر فيما يقارنه بالضبط. أن نطلب من المتطوعين الحكم على إن كانت التغيرات فى اللون تحدث فى وقت حدوث التغيرات فى اتجاه الحركة تختلف عن طلب معرفة إن كان لون معين يقترن دائما بحركة معينة. المناقشة فى Dennett and Kinsbourne, 1992 وثيقة الصلة بهذا الموضوع.

(١٣) Efron, 1973b؛ Yund, Morgan and Efron, 1983؛ انظر أيضًا Herzog et al., 2003.

(١٤) تتناسب مدة المحفز، المدة التى يغيب فيها التعديل المؤقت، عكسيا مع تردد اندماج رجفة اللون. يقاس هذا التردد بالتعديل المستمر فى لون نمط ثابت فى الزمن. بينما يمكن اكتشاف الألوان المفردة بوضوح حين تتغير ببطء، بمعدل تعديل ما تطمس ولا يدرك إلا لون واحد هجين Gur and Snodderly 1997 . Gowedy, Stromeyer and Kronauer, 1999). فى مجال السمع، يشكل تمييز أصوات متتابعة تنطق (فونيمات phonemes) وحدات بناء

المعالجة اللغوية. يعانى الرضع والأطفال الذين يعانون من مشاكل فى تعليم اللغة والكتابة، كما فى عسر القراءة، من صعوبات هائلة فى تحديد المحفزات السمعية المتتالية بسرعة والتمييز بينها .(Nagarajan et al., 1999. ؛Tallal et al., 1998). ويحتمل أن هؤلاء الأفراد يعانون من عيوب عامة فى معالجة الإشارات السريعة.

(١٥) لا يحدث الاندماج دائما. فى وراثة خاصية، يرث الشىء المدرَك خصائص صورة سابقة غير مرئية على مستوى الإدراك .(Herzog and Koch, 2001).

(١٦) Fahle, 1993 ؛ Westheimer and McKee, 1977.

(١٧) يميز علماء النفس بين ثلاثة أشكال رئيسية، التقنع الخلفى والأمامى وما بعد التضاد (Breitmeyer, 1984; Bachmann, 1994 and 2000; Breitmeyer and Ögmen, 2000; and Enns and DiLollo, 2000) (Flanagan, 1992) ؛(Dennet, 1991) استكشف الفلاسفة نتائج التقنع فى نظريات العقل. لم يختف فى أى من هذه الحالات المحفز فيزيائيا بالقناع.

(١٨) Dehaene et al., 2001. كانت الاستجابات ضئيلة فى النصف الأيمن من الدماغ، مما يتسق مع تخصص نصف الدماغ بالنسبة للغة.

(١٩) يستكشف Rolls and Tovee (1994); Macknik ang Livingstone (1998); Thompson and Schall (1999); Macknik, Martinez- Conde, and Haghund (2000); and Keysers and Perrett (2002). الارتباطات العصبية للتقنُّع فى لحاء القرد. يستخدم Thompson and Schall, 2000 التقنع لوصف الارتباطات العصبية فى خلايا المجال الجبهى للعين. ربما يتداخل التقنع بشكل انتقائى مع المكونات الرائدة أو التابعة للنشاط العصبى الناتج عن المحفز، مشيرة إلى بداية المحفز واختفائه.

(٢٠) صار هذا معقولا بواسطة VanRullen and Koch, 2003b فى المحاولات التى تكتشف فيها صور الحروف المقنَّعة ـ وغير مرئية على مستوى الإدراك ـ بسرعة وبشكل صحيح.

(٢١) وهم تأخر الوميض وصفه أول مرة علماء النفس الجشتالتى، وأعاد اكتشافه Nijhawan, 1994, 1997 . تحول الاستكشاف الحديث لهذا الوهم إلى منجم ذهب للبصائر التجريبية Eagleman and Sejnowski, 2000 Shath, Nijhawan and Shimojo. 2000 Schlag and Schlag and Schlag-Rey, 2002 Krekelberg and Lappe, 2001

(٢٢) لا يعنى هذا أن مدة المُدْرَك (Toff - Ton) مماثلة لمدة المحفز .(toff - ton).

(٢٣) أيد هذا الموضوعَ بقوة Lamme and Roelfsema, 2000 Cauller and Kulics, 1991 Supèr, Spekreijse and Lamme, Bullier, 2001 DiLollo, Enns and Rensink, 2000 Pollen. 2003, 2001 لم ير أى منها أن نشاط التغذية الرجعية، فى ذاته، يكفل الوعى. إذا كانت فرضية ميلنر وجوديل عن التيارين البصريين صحيحة (القسم ١٢-٢)، فإن ذلك يطرح سؤالا عما يجعل التغذية الرجعية فى المسار الظهرى غير كافية لظهور الارتباطات العصبية للوعى.

(٢٤) يمكن أن توجد الركيزة الفيزيائية الحيوية لمثل هذه التفاعلات للتغذية الرجعية الميسِّرة فى خُصْلة القمة، الجزء الأعلى من التفريعة الشجرية للخلايا العصبية الهرمية اللحائية الطويلة فى الطبقة الخامسة. موقعها الاستراتيجى - يمينا فى منطقة انتهاء التغذية الرجعية اللحائية - اللحائية - ويوجد هناك تكميل التيارات المعتمدة على شدة التيار، يبقيها عرضة تماما للمُدْخَل المشبكى المتزامن، أكثر بكثير مما فى جسم الخلية (Williams and Stuart, 2002, 2003؛ انظر أيضًا Rhodes and Llinás, 2001). بتعبير آخر، مثل هذه الخلية العصبية الهرمية الموجودة فى مكان ما فى اللحاء البصرى، للمُدْخَل بشكل متزامن من عدة مواضع فى مقدم اللحاء بتوليد وابل من الشوكات.

(٢٥) يجادل Grossberg, 1999 صراحة من أجل مثل هذا القياس التمثيلى.

(٢٦) بنيامين ليبت Libet (١٩١٦ - ٢٠٠٧): عالم أمريكى (المترجم).

(٢٧) Libet, 1966, 1973, 1993. طورت التجارب المستمرة ملاحظات ليبت ووسعتها (et al., 1999؛ Ray Meador et al., 2000).

(٢٨) Libet, 1993.

(٢٩) النموذج الذى كان فى ذهننا عملية تسرب الدمج والتأجج (Koch, 1999). تأمل تيارا مستمرا يشحن سعة كهربية، مشيدا قوة كهربية عبره. هذه الزيادة يعادلها التسرب خلال المقاومة، مما يجعل الجهد الكهربى يتحلل تصاعديا دون مُدْخَل. بمجرد وصول القوة الكهربية عبر السعة الكهربية إلى عتبة، يُطلَق فعل ما، تبدأ القوة الكهربية من جديد، وتبدأ العملية من جديد. إذا كانت شدة التيار المناسب إلى السعة صغيرة، يتأخر الوصول إلى العتبة؛ إذا كان التيار كبيرا، يكون الوصول إلى العتبة أسرع لأدنى قيمة من المُدْخَل، يناظر بناء القوة الكهربية التحلل، وهكذا لا يتم الوصول إلى العتبة أبدًا. مع زمن ثابت حول ٢٥٠ ملى ثانية، يتبع سلوك هذا النموذج المنحنيين فى الشكل ١٥-٣ بدقة. دراسة التحفيز بغرس أقطاب داخل الجمجمة فى اللحاء فى مرضى صرع من الشباب يؤكد اتجاه هذا التدريب البسيط - بالتحديد، حتى أطلقت نبضات لأوقات قصيرة جدا أحاسيس ظاهرية (Ray et al., 1999).

(٣٠) هذه فكرة قديمة تعود بشكل أو بآخر على الأقل إلى القرن التاسع عشر:
(Stroud, 1956; White, 1963, Harter, 1967. Pöppel, 1978; and Geissler, Schebera, and Kompass, 1999).

(٣١) يُرَى هذا النوع من وهم عجلة العربة فى الضوء الثابت (Purves, Paydarfar and Andrews, 1996). يرى فقط بشكل متقطع ويختلف عن التأثير المعتاد لعجلة العربة، الذى يحدث بالكمية الزمنية المتأصلة فى التليفزيون والأفلام.

(٣٢) فرانك جهرى Gehry (١٩٢٩ -) : مهندس معمارى أمريكى كندى (المترجم).

(٢٤) بالنسبة لقيمة خاصة للفترة التحفيزية بين ضوءين، ومضا واحدا بعد آخر، يبدو وكأن الشخص يرى ضوءا واحدًا كأنه ضوءان متتابعان .(Wertheimer, 1912) فرضية Gho and Varela, 1988 بأن العامل المحدِّد مرحلة إيقاع ألفا لبداية الومضتين لم يتم التحقق منها تجريبيا Rufin VanRullen أو David Eagleman (اتصال شخصى) فى تجارب مستقلة.

(٢٥) Kristofferson (1967); Hirsh and Sherrick (1961); Lichtenstein (1961); White and Harter (1969); and Efron (1970a).

(٢٦) سمحت الطرق الحديثة لتحليل الإشارة بأن يحلل Makeig et al., 2002 (انظر أيضًا Varela et al., 2001) بيانات رسم المخ الكهربى التقليدى على أساس محاولة بمحاولة. وكشف هذا التحليل تجديد مرحلة إيقاع ألفا نتيجة محفز. على أساس تسجيلات الأقطاب الكهربية الموضعية داخل الجمجمة فى المرضى، استنتج Rizzuto et al., 2003 بالمثل أن مرحلة ذبذبات فى حدود ٧-١٦ هرتز تتحول أو تتجدد بعد محفزات موضوعة زمنيا بشكل عشوائى. انظر Sanford, 1971 للاطلاع على مراجعة لأدبيات أقدم.

(٢٧) الاقتباس المقابل من Sacks, 1984. يحدث الوميض فى هذه النوبات من الصداع النصفى بمعدل ٦-١٢ فى الثانية. الاقتباس فى النص من Sacks, 1970. انظر أيضًا تاريخ H.Y.، مريض ما بعد التهاب المخ، فى .Awakenings (Sacks, 1973)

(٢٨) فى الأصل TMS: اختصار التحفيز المغناطيسى عبر الجمجمة transcranial magnetic stimulation، طريقة لإزالة استقطاب الخلايا العصبية فى الدماغ (المترجم).

(٣٩) قد يكون من المفيد تقديم مثال رقمى. افترضْ أن مدة إطار حوالى ١٠٠ ملى ثانية وأن مرور ١٠ أطر يحس مثل ثانية. إذا زادت مدة الإطار إلى ٢٠٠ ملى ثانية، فإن ثانية واحدة، فى الزمن الواقعى الفيزيائى، تبلغ خمسة أطر، مثل نصف ثانية. بلغ وقت الإدراك النصف؛ يسرع الزمن. بالعكس، إذا تقلصت مدة الإطار إلى ٥٠ ملى ثانية، يحدث ٢٠ إطارا فى الثانية نفسها، وتحس الآن مثل ثانيتين: يبطئ الزمن.

(٤٠) هناك أدبيات كثيرة عن ظاهرة إدراك الزمن (Dennett and Kinsbourne, 1992؛ Pastor and Artieda, 1996؛ Pöppel, 1978, 1997). ومن أكثرها ارتباطًا بالهدف الحالى دراسة Flaherty, 1999 .

(٤١) يميز Fries et al., 2001a التذبذبات التلقائية المترابطة فى النشاط الشوكى فى الخلايا المتجاورة فى اللحاء البصرى، التى قد تؤثر فى أداء المهمة.

(٤٢) ذكر Burle and Bonnet, 1997, 1999 أن أزمنة رد الفعل البصرى يمكن تسريعها بسلسلة من الطقطقات المسموعة غير ذات الصلة.

الفصل السادس عشر

حين يخفق العقل: تتبع آثار قدم الوعى

تكفى فكرة وحيدة لتشغلنا:
لا يمكننا التفكير فى شيئين فى وقت واحد.

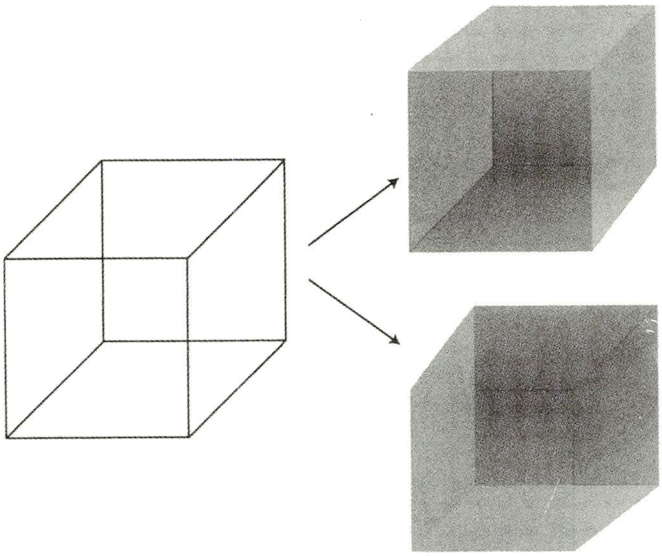
بليز باسكال، "أفكار" Pensées (١)

دعنى أصل إلى وسيلة مباشرة أكثر لتحديد موضع الارتباطات العصبية للوعى. إذا وضعنا فى الاعتبار طبيعة العضو الذى يولِّد الوعى، فعلى البحث الذى يسعى إلى فك شفرة هذا اللغز البحث عن المتغيرات المجهرية المناسبة ـ الاستجابات الشوكية للخلايا العصبية الفردية. التجارب الفسيولوجية والنفسية الجسدية هى المرحلة الأساسية، وفيها العلاقة بين ما فى العالم وما فى العقل ليست علاقة واحد بواحد بل علاقة واحد بكثير. ونتيجة الافتقار إلى مصطلح أفضل، أسمى هذه الظاهرة **محفزات الإدراك**.

العلامة المميزة لمحفز الإدراك هى إمكانية ارتباط المُدْخَل الواحد ذاته بحالات ظاهرية مختلفة. تعتمد الظاهرة المحسوسة على عوامل كثيرة، مثل التعرض السابق لهذا المحفز، أو انتباه الشخص، أو تذبذب مختلف متغيرات الدماغ.

تأمل الخطوط الاثنى عشر التى تشكل مكعب نيكر Necker (الشكل ١٦ ـ ١). نتيجة الالتباس المتأصل فى استنباط شكله ثلاثى الأبعاد من لوحة ثنائية الأبعاد، يمكن تفسير خطوط المكعب بطريقتين، لا تختلفان إلا فى التوجه فى الفضاء.

دون مفاتيح للمنظور والظلال، من المرجح أن ترى واحدًا مثل الآخر. لا يتغير المحفز الفيزيائى- لوحة الخطوط، لكن الإدراك الواعى يخفق ذهابا وإيابا بين التفسيرين، فيما هو مثال نموذجى للمدرك **ثنائى الثبات**.(٢)



الشكل ١٦ ـ ١ **مكعب نيكر ثنائى الثبات**: يمكن رؤية اللوحة الخطية على اليسار بإحدى طريقتين، موضحتين على اليمين. دون مفتاح آخر، يخفق عقلك ذهابا وإيابا بينهما. لا ترى أبدًا اتحادًا للاثنين.

لا ترى أبدًا مكعبًا معلَّقًا فى منتصف الطريق بين داخل الشكلين وخارجهما، ولا ترى اندماجًا للاثنين. لا يمكن لعقلك تصور الشكلين فى وقت واحد. يتنافس كل شكل **للسيطرة على الإدراك**. وهذا ليس إلا تجليًا للظاهرة العامة، فى وجود الالتباس، لا يقدِّم العقل حلولا متعددة، لكنه يفضل تفسيرا واحدًا قد يتغير مع الزمن. هذا الوجه من أوجه الخبرة يسمى أحيانا **وحدة الوعى**. (٣)

العمى الناتج عن الحركة (انظر القسم ١-٣) محفز آخر للإدراك يؤكد تنوع طبيعة الوعي.[٤] ومحفزات الإدراك الأكثر شيوعا مع علماء الدماغ، مع ذلك، **تنافس العينين وقمع الوميض**. يسمح الاثنان للملاحظ الذكى بأدوات صحيحة لتمييز الخلايا العصبية التى تتبع بشكل صاغر المُدْخَل الفيزيائى من تلك التى ترتبط بالمُدْرَك الذاتى. ويشبه اقتفاء آثار قدم الوعى.

إذا وضعنا فى الاعتبار كل ما هو معروف عن الشبكية، من غير المرجح أن يتغير نشاطها حين يتغير المُدْرَك الواعى. تتفاعل خلية عقدية فى عينك تلقائيا مع بقعة ضوء أو زاوية مكعب سواء أدركت ذلك فى اتجاه أو فى اتجاه آخر. وبتعبير مختلف، يمكن ربط حالة الشبكية ذاتها بحالتين ظاهرتين متميزتين. فى موضع ما من دهاليز مقدم دماغك خلايا عصبية يعكس نشاطها تقلب مدْرَكك الواعى. اكتُشِفتْ هذه الخلايا ـ المرشحة للارتباطات العصبية للوعى ـ فى القرود والبشر، وهى موضوع هذا الفصل.

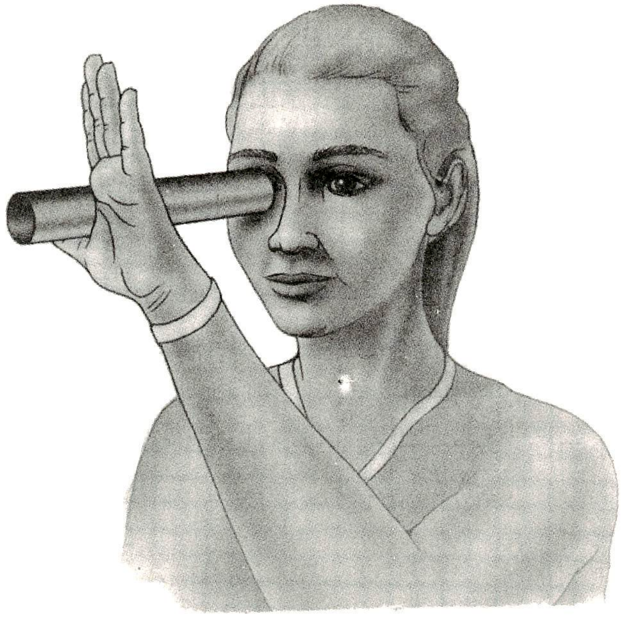
١٦ ـ ١ تنافس العينين: حين لا تتفق العينان

فى سياق الحياة اليومية، تُواجِه عينيك باستمرار مشاهدُ متشابهةٌ، وإن تكن غير متطابقة، من العالم. يمكن للدماغ استخلاص إشارات كافية من تباينات صغيرة بين هذه الصور ليتبين العمق.

ماذا يحدث إذا رأت أجزاءٌ متناظرة من عينيك اليسرى واليمنى صورتين متميزتين تمامًا، شيئًا يمكن ترتيبه بسهولة باستخدام مرايا وحاجز أمام أنفك؟ افترضْ أن عينك اليسرى ترى خطوطًا عمودية وترى عينك اليمنى خطوطًا أفقية. من المعقول تمامًا أن تتوقع رؤية نمط مربَّع ـ تراكب للخطوط الأفقية والعمودية. وهو ما يحدث أحيانًا فى الحقيقة. تحدث مع ذلك، فى ظروف مواتية، ظاهرة أكثر إرباكا بكثير: تدرك نمطا واحدًا فقط من الاثنين، ولتكن الخطوط العمودية التى تحفز عينك اليسرى. بعد بضع ثوان، تشحب هذه الصورة، وتظهر بقع الصورة من العين اليمنى، حتى بعد فترة انتقالية، لا ترى إلا الخطوط الأفقية (اختفت الخطوط العمودية). يمكن تعاقب المُدْرَكين بهذه الطريقة إلى ما لا نهاية، حتى إذا بقيت العينان مفتوحتين باستمرار. يسمى علماء

النفس هذه الظاهرة تنافس العينين لأن صورة تقمع الأخرى وتهيمن عليها على مستوى الإدراك (الشكل ١٦-٢).[٥]

يعتمد تنافس نمطين ـ مثل وجه وحاجز متحرك، أو فتاة تبتسم وسيارة ـ على التقابل النسبى بينهما، ومحتوى التكرار المكانى، والألفة. إذا كانت الصورتان بارزتين بالقدر نفسه، تكون كل صورة منهما مرئية عادة للقدر نفسه من الوقت تقريبًا. تختلف مدة هذه الفترات السائدة ـ المدة التى تكون فيها أية صورة منهما مرئية- بقدر كبير عبر الأشخاص والمحاولات.[٦] حتى لو كانت إحدى الصور الناتجة عن التنافس أكثر شحوبًا أو أقل بروزًا من الأخرى، تهيمن الصورة الأضعف على الأقوى فى نقطة ما، وإن يكن عادة لوقت قصير. يمكن اعتبار تنافس العينين تعاقبًا انعكاسيا بين المُدْرَكات يمكن أن يتأثر، مع إنه لا يتلاشى تمامًا، بعوامل حسية أو معرفية.



الشكل ١٦-٢ **فى عقلى ثقب**: يمكن ملاحظة شىء شبيه بالتنافس بمساعدة قطعة من الورق. لفها على شكل أنبوبة صغيرة وأمسك هذه الأسطوانة بيدك اليسرى أمام عينك اليمنى بالشكل المرسوم. ينبغى أن ترى ثقبًا فى يدك اليسرى! وجِّه الأنبوبة إلى خلفية مظلمة وثبِّتها. بعد برهة ترى ظهر يدك اليسرى. يتعاقب هذا المُدْرَك مع رؤية ثقب وأى شىء توجه الأنبوبة إليه. إذا هيمنت عينك اليسرى، اعكس "اليسرى" و"اليمنى" فى هذه التعليمات.

يمكن إحداث التنافس بشكل أكثر سهولة مع الصور الصغيرة. إذا لم تُصمَّمْ بدقة، يؤدى التنافس مع الصور التى هى أكبر إلى مدرك تدريجى، تسود فيه الصورتان فى أجزاء مختلفة من المجال البصرى، وتقسمه إلى ملصق يشبه الفسيفساء، لا يختلف عن لحاف. موضعيًا لا يزال المدرك مشيدا من صورة أو من أخرى وليس من تراكب للاثنتين.

على المستوى العصبى، اعتُقِد لوقت طويل أن التنافس نتيجة كبح متبادل بين مجموعات الخلايا الممثلة للمعلومات الواردة من العين اليسرى ومن العين اليمنى. يتأجج ائتلاف، ويمنع الآخر من الاستجابة. وهذا الكبح يتعب، تسود المجموعة الأخرى فى النهاية. يشبه الأمر إلى حد ما الانتخابات الرئاسية فى الولايات المتحدة، حيث يتعاقب المصوتون، بدرجة معقولة من الانتظام، بين إرسال ديموقراطى وجمهورى إلى البيت الأبيض.

توحى الأدلة السيكولوجية والتصوير بالأشعة باكتمال هذا التحول الأوتوماتيكى بعمليات نشطة ترتبط بالانتباه. يمكن لآليات موجودة فى مقدم الفص الجبهى والمناطق الجدارية أن توجه الجهاز باتجاه ائتلاف أو آخر، مما يمكِّن الائتلاف المختار من تشكيل قوة كافية للهيمنة ومن نشر محتوى معلوماته على نطاق واسع، جالبا تلك الصورة إلى الوعى.(٧)

١٦ ـ ٢ أين يحدث قَمْع الإدراك؟

أين تحدث معركة الهيمنة فى الدماغ؟ لا تتأثر خلايا الشبكية بالمُدْرَك؛ يوجهها بشكل قاطع مُدْخَل المستقبلات الضوئية. يمكن تعديل الإدراك مبكّرًا فى النواة الركبية الجانبية، فى منتصف الطريق بين الشبكية واللحاء البصرى الأولي. وقد أوضحت التسجيلات من خلايا الركبية أن معدل تأججها لا يختلف سواء رأى القرد محفزا تنافسيا أو غير تنافسى. (٨) يحدث التفاعل، إذن، بين المحفزات المهيمنة والمكبوحة فى اللحاء.

تتبع المناطق اللحائية البدائية المحفز غالباً

استكشف نيكوس لوجوثيتيس(٩) المواضع اللحائية المسئولة عن تنافس العينين فى القرود بجهد رائع استمر عقداً من الزمان ـ من أعماله المبكرة مع جيفرى شال Schall فى معهد ماسوشوسيت(١٠) للتكنولوجيا، لتطويره التالى لنموذجه التجريبى مع ديفيد شينبرج Sheinberg وديفيد ليوبولد Leopold فى كلية بالور Baylor للطب فى هوستون والآن فى معهد ماكس بلانك Max Planck للسيبرنطيقا البيولوجية فى توبنجن Tübingen، ألمانيا. (١١)

يصعب إلى حد بعيد تسجيل النشاط الشوكى فى حيوانات نشطة لأسباب تقنية لا حصر لها. يكمن تحدٍّ إضافى فى طبيعية الإدراك ثنائى الثبات، الذى يحول بين الملاحظ الخارجى ومعرفة خبرة الشخص. فى تجربة للتنافس، يقدم متطوعون بأجر، وهم طلاب جامعيون عادة، تقريرا لفظيا عن مُدْرَكهم أو، بالنسبة لتوازٍ أفضل مع دراسات الحيوانات، إشارة إلى مُدْرَكهم بالضغط على أزرار مناسبة. يمكن لعلماء الكهروفسيولوجيا تدريب القرود على المهمة ذاتها والقيام باختبارات متنوعة للتأكد من أن صور استجابات القرود تماثل صور استجابات البشر، مما يؤكد للمتشككين أن الحيوانات تسجل خبرة إدراكها تقريبا كما يسجل بها البشر خبرتهم. (١٢)

المبدأ وراء هذه التجارب واضح، لكن الممارسة أكثر تعقيدًا، وعلىَّ تبسيطها إلى حد ما. فى أحد الأمثلة، عُلِّم القرد الإمساك برافعة كلما رأى شروقًا معينًا، ورافعة أخرى كلما رأى أية صورة أخرى من صور متنوعة - لأناس، لوجوه، لفراشات، لأشياء من صنع البشر، إلخ. وُضِع الحيوان بعد ذلك فى مشروع تنافس العينين، الذى يُسقِط نمط الشروق فى إحدى العينين وصورة أخرى فى العين الأخرى. أشار القرد إلى الصورة التى يراها بالضغط على الرافعة المناسبة (عُلِّم الحيوان عدم الاستجابة فى فترات الانتقال). بمجرد اكتمال التدريب، يغرس قطب كهربى فى دماغ الحيوان ويوضع قرب خلية عصبية نشطة، ويبدأ البحث عن محفز "مفضل" يستثير هذه الخلية، حين يظهر للقرد يستثير استجابة قوية يُعوَّل عليها.

أثناء مرحلة التنافس فى التجربة، أُسقِط هذا المحفز الفعال فى عين وأُسقِط نمط الشروق، الذى لا يستثير إلا استجابة ضعيفة فى هذه الخلية، فى العين الأخرى. والحيوان يشير إلى المحفز الذى يراه من الاثنين، تمت متابعة نشاط الخلية العصبية باستمرار. وسؤال المليون دولار الآن: (١٣) هل يعكس معدل التفريغ المُدْخَل الوارد باستمرار إلى الشبكية أم المُدْرَك الشعورى المتغير؟

تأججت غالبية الخلايا فى اللحاء البصرى الأولى والثانوى باعتبار ضئيل لانحسار الإدراك وتدفقه. عمومًا، زادت خلية عصبية من نشاطها للمحفز فى

عين بصرف النظر عما يراه القرد. تغيرت إلى حد ما ست خلايا فقط من ٣٢ خلية بالإدراك؛ وحين لا يرى الحيوان المحفز المفضل، يتقلص معدل تأجج الخلية العصبية مقارنة بهذه النوبات وهو يرى المحفز. (١٤) تتأجج معظم خلايا اللحاء البصرى الأولي بصرف النظر عن المحفز الذى يراه القرد. وتعزز هذه البيانات نقطة أشرْتُ إليها من قبل ـ بالتحديد، لا يكفل نشاطٌ لحائى قوى مُدركًا شعوريا. لا يساهم كل نشاط لحائى فى الوعى.

يفسر نقص تأثير دال للإدراك فى النشاط المتأجج لخلايا اللحاء البصرى الأولي ضعف تأثر التأثيرات اللاحقة المعتمدة على هذه الخلايا العصبية بقمع الإدراك. تذكر من القسم ٦-٢ أن التأثيرات اللاحقة المعتمدة على التوجه يمكن إحداثها بمحفزات خفية. تجلت قدرة الأشياء غير المرئية فى التأثير فى الرؤية أول مرة فى سياق تنافس العينين؛ حتى لو قمع نمط فى عين، يظل يحدث تأثيراً لاحقا يعتمد على التوجه أو يعتمد على الحركة. (١٥) وتتفق هذه النتائج مع فرضيتنا بأن الارتباطات العصبية للوعى لا توجد ضمن خلايا اللحاء البصرى الأولي (الفصل السادس).

أحد مصادر الخلاف المستمر دراستين بالتصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى لتنافس العينين فى اللحاء البصرى الأولي فى الإنسان. ذكرت تجربةٌ تعديلا ثابتا لتدفق الدم فى هذا اللحاء مع التنافس. كانت إشارة تدفق الدم مع الصورة المرئية أقوى من إشارته مع الصورة المقموعة.(١٦) استخدمت التجربة الثانية الاستراتيجية المبتكرة لاقتفاء استجابة الدماغ فى التمثيل اللحائى للبقعة العمياء (انظر الشكل ٤-٢). وجد هؤلاء الباحثون أن التنافس عدَّل الإشارة فى هذه المناطق بقوة كما كان الحال والمحفز المقموع على مستوى الإدراك يُضاء ويُطفأ ببساطة. واستنتجوا أن التنافس يُحَل تمامًا فى اللحاء البصرى الأولي. (١٧)

استنتاج أن ما يكسب وما يخسر فى صراع التنافس يُقرَّر فى اللحاء البصرى الأولي موضع شك؛ لأنه يفترض أن إشارة بطء تدفق الدم ترتبط ارتباطًا مباشرا بالنشاط الشوكى القوى جدا فى الخلايا العصبية الممتدة. أحيانًا، يكون العكس صحيحًا. (١٨) زيادة تدفق الدم ومستويات الأكسجة المسئولة عن إشارة التصوير

الوظيفى بالرنين المغناطيسى تقترن بقوة بالنشاط الشوكى - إفراز الناقل العصبى وتمثُّله، وبالعمليات الكهربية فى الدوائر الموضعية. ربما يستهل، أو لا يستهل، المُدْخَل المشبكى جهود الفعل التى تنتقل إلى المحور، اعتمادًا على كمية الاستثارة والكف. وتوحى هذه القراءة الأكثر دلالة لبيانات التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى من الناحية الفيزيائية الحيوية - بأن نشاط التغذية الرجعية من المناطق العليا يصل إلى اللحاء البصرى الأولي حيث يطلق المُدْخل المشبكى، دون أن يغير بالضرورة معدل تأجج الخلايا العصبية التى تمتد خارج هذا اللحاء. ينبغى لجهود البحث فى السنوات القليلة التالية حل هذا التباين بين كهروفسيولوجيا الخلية المفردة وتقنيات التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى.

هل المناطق الوسيطة موضع التنافس؟

أنماط الاستجابة العصبية فى المنطقة البصرية الرابعة والمنطقة الصدغية الوسطى أكثر تنوعًا من الأنماط فى اللحاء البصرى الأولي.(١٩) يرتبط حوالى ٤٠٪ من خلايا المنطقة البصرية الرابعة بسلوك الحيوان، أى بإدراكه (المفترَض). بشكل فضولى، يُزيد ثلث هذه الخلايا العصبية المتغيرة من معدل التأجج حين يرى القرد المحفز المفضل، وتستجيب بقية الخلايا بشكل أفضل حين يُقمَع محفزها المفضل. تكشف تسجيلات المنطقة الصدغية الوسطى من الحواجز المتحركة عن صورة متماثلة نوعيا. يعدل ٤٠٪ من الخلايا العصبية معدل التأجج مع إدراك الحيوان. يتأجج نصف هذه الخلايا حين يُقمَع اتجاهها المفضل على مستوى الإدراك. وهكذا، فى المنطقتين، ترسل بعض مجموعات الخلايا إشارة نشطة والمحفز المفضل غير مرئى- نوع من التمثيل "الفرويدى" اللاشعورى لمحفز مقموع.

تشير صورة تأجج الكثير من خلايا المنطقة البصرية الرابعة وخلايا المنطقة الصدغية الوسطى إلى أنها تغير نتاجها أساسًا أثناء التنقل مع تغير المُدْرَك من صورة إلى الأخرى. من الاستنتاجات المعقولة أن الائتلافات فى هذه المناطق الوسيطة تتنافس معًا، فى محاولة لحل الالتباس الذى تفرضه صورتان متباينتان. فى نقطة ما يتأسس فائز، ويشار إلى هويته (وربما أيضًا هوية الخاسر) فى المراحل التالية.

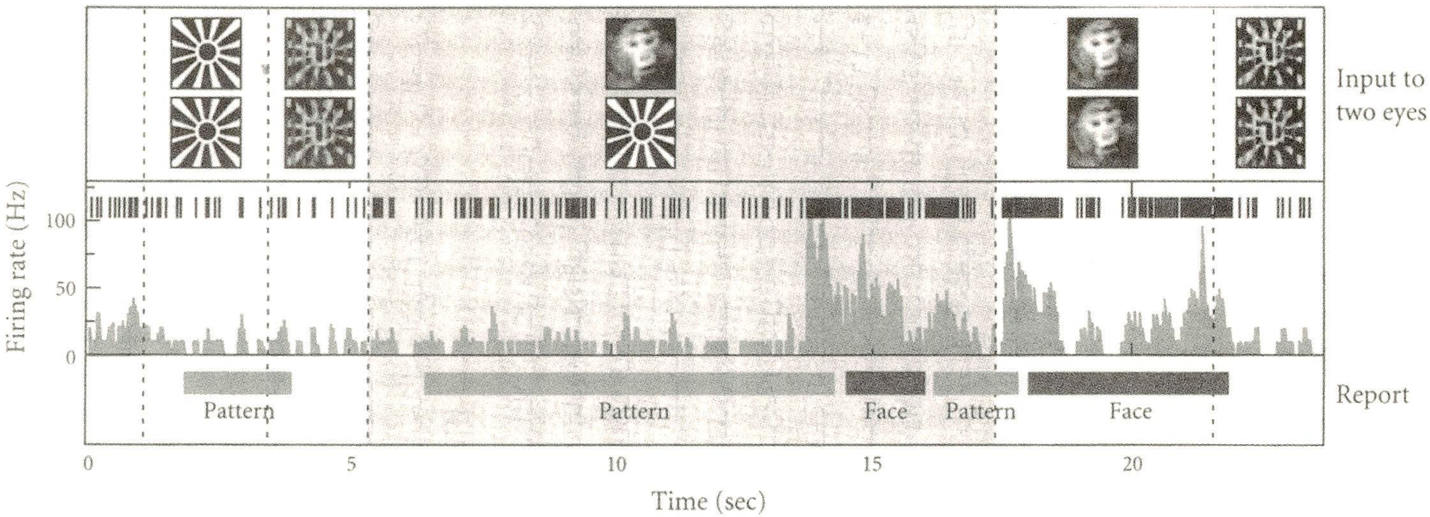
١٦ ـ ٣ آثار أقدام الوعى تقود إلى

اللحاء الصدغى السفلى

حين سجل شينبرج ولوجوثيتيس من خلايا فى اللحاء الصدغى السفلى وفى الضفة السفلى من الثلم الصدغى العلوى التى تُحد اللحاء الصدغى السفلى على جانبه العلوى، وجدا أن تنافس المحفزات المتنافسة قد حُلَّ. تأججت تسع خلايا من كل عشر متوافقة مع مُدْرَك القرد. تأججت الخلية كلما رأى القردُ المحفزَ المفضَّل للخلية العصبية. حين سادت الصورة الأخرى، صمتت الخلية. على عكس الوضع فى المنطقة البصرية الرابعة والمنطقة الصدغية الوسطى، لم ترسل خلايا اللحاء الصدغى السفلى إشارة للمحفز المقموع غير المرئى. (٢٠)

دعنى أوضح هذه النتائج فى الخلية العصبية المصورة فى الشكل ١٦ ـ ٢. تأكد المجربون أولا أن الخلية تأججت لرؤية وجه قرد أقوى مما تأججت لرؤية نمط الشروق. أثناء الفترة المشار إليها بالرمادى، تطلع الحيوان إلى الصورتين فى ظروف ثنائية العينين، مسجلا الصورة التى رآها. حين تغير توجه القرد، تغيرت الخلية العصبية أيضًا. ورغم بقاء مُدْخَل الشبكية ثابتا، كانت استجابة الخلية العصبية حين رأى القرد الوجه أقوى من استجابتها حين رأى الشروق.

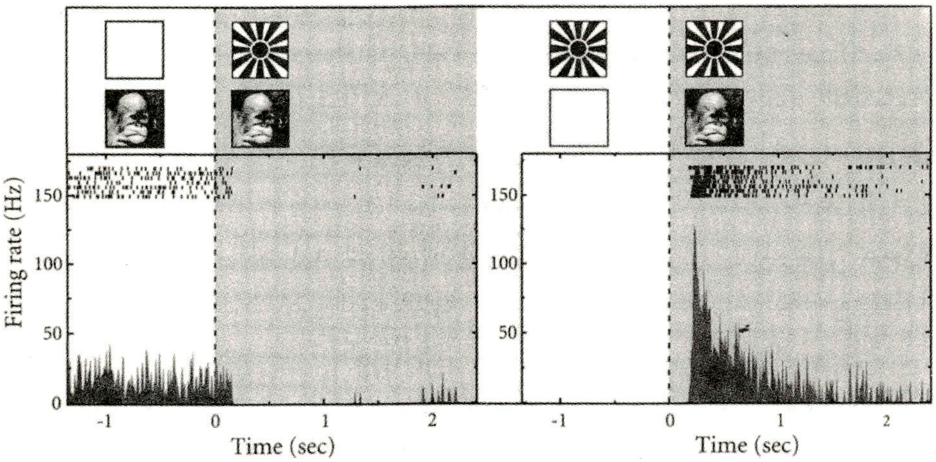
أصداء هذا التضارب الهائل بين ظروف الخلايا العصبية يمكن التقاطها بتصوير نشاط دماغ الإنسان. أوضحت من قبل عالمة النفس البصرى نانسى كانويشر Kanwisher فى معهد ماسوشوسيت للتكنولوجيا أن إشارات التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى فى المنطقة المغزلية للوجه (القسم ٨ ـ ٥) تستجيب للوجوه بقوة أكبر من استجابتها لرؤية المنازل والأماكن والبيانات المميزة. والعكس صحيح بالنسبة لمنطقة المكان حول قرن آمون: هنا، إشارة التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى لصور المنازل والأماكن أقوى من الإشارة للوجوه. وقد سمحت لها هذه الحساسية المميزة ولمساعديها بمقارنة نشاط تدفق الدم فى هاتين المنطقتين، فى مرتبة عالية من التدرج البصرى، والمتطوعون يستلقون داخل جهاز الرنين المغناطيسى، يختبرون التنافس بين صور الوجوه والمنازل. اتساقا مع بيانات الخلية الواحدة، عكست إشارة تدفق الدم فى هاتين المنطقتين، فى مرتبة عالية من التدرج البصرى، المُدْرَك الذاتى. كانت الإشارة حساسة بما يكفى للتنبؤ بما إن كان الشخص رأى، فى الفترة السابقة، وجهًا أم منزلا، شكلا محدودًا من قراءة الذهن.



الشكل ١٦ ـ ٣ **تنافس العينين فى خلية عصبية فى اللحاء الصدغى السفلى**: كسر من دقيقة فى حياة خلية نموذجية فى اللحاء الصدغى السفلى. يشير الصف العلوى إلى مُدْخَل الشبكية، مع خطوط رأسية منقطة تحدد تنقلات المحفز. يوضح الصف الثانى الشوكات الفردية من محاولة واحدة، ويوضح الثالث معدل التأجج السلس عبر محاولات كثيرة، والصف السفلى مُدْرَك القرد. وقد تعلَّمَ ضغط رافعة فقط عند رؤية صورة أو الأخرى، وليس حين يرى تراكب الاثنتين. استجابت الخلية بضعف لنمط الشروق وحده أو حين كانت هذه الصورة مركبة فوق صورة وجه قرد (٥ ثوانٍ تقريبًا). أثناء تنافس العينين (المنطقة الرمادية)، تأرجح إدراك القرد بين رؤية الوجه ورؤية الشروق. كان إدراك الوجه مصحوبا (ومسبوقا) باستمرار بزيادة قوية فى معدل التأجج. عن N. Logothetis (اتصال خاص).

لفهم أن الخلايا العصبية فى اللحاء الصدغى السفلى وحوله ربما تكون أعضاء ائتلاف كاف للوعى، خبرات بصرية، تأمل وهم قمع الوميض، وقد اكتشفه جيرمى ولف Wolfe فى بحثه للدكتوراه فى معهد ماساشوسيت للتكنولوجيا، يستغل قمعُ الوميض قمع العينين، مع مُدْرَك يُضبَط بشكل أسهل مما يحدث فى التنافس الحر. افترضْ أنك تنظر بعين واحدة إلى صورة. بعد برهة، ومضت صورة مختلفة فى عينك الأخرى. إذا سقطت الصورتان على أجزاء متناظرة من الشبكتين، ترى الصورة التى ومضت حديثا، لا الصورة القديمة، حتى لو بقيت أمامك مباشرة. الصورة الثانية، نتيجة لحداثتها، أكثر بروزًا من الصورة الأقدم وتستبعد الصورة الأقدم من الرؤية.[٢٢]

تتصرف القرود وكأنها تجرِّب شيئا مماثلا. بشكل مماثل لتجارب شينبرج ولوجوثيتيس عن التنافس، دربا الحيوانات على الإشارة إلى إدراكها بدفع رافعة من اثنتين والأقطاب الكهربية تتابع الخلايا العصبية المفردة. أثارت صورة فوتوغرافية لوجه قرد صغير، فى ذاتها، استجابة قوية (اللوحة اليسرى فى الشكل ١٦-٤). ومضة نمط الشروق فى العين المقابلة محت إدراك الوجه؛ فى المستوى العصبى، خبت استجابة الخلية بسرعة وبشكل تام تقريبا، حتى لو بقيت الصورة المفضلة للخلية فى عين. لا تتوقف الخلايا فى المناطق السفلى بهذه الصورة الدرامية لمحفز غير مُدْرَك. تصور اللوحة اليمنى فى الشكل ١٦-٤ السيناريو العكسى. لا يستثير الشروق فى ذاته شوكات. بعد إسقاط صورة وجه قرد فى العين الأخرى، زادت الخلية فجأة من معدل تأججها وأشار الحيوان إلى أنه رأى الوجه. فيزيائيا، لم يتغير المُدْخَل فى الحالتين. اختلفت خبرة الإدراك تمامًا، مع ذلك، وعبَّرتْ هذه الخلية العصبية عن هذا الاختلاف.



الشكل ١٦-٤ **خلية عصبية تتابع مُدْرَك الكائن:** تستثير صورة قرد صغير استجابة قوية من هذه الخلية العصبية فى الثلم الصدغى العلوى (أقصى جزء يسار اللوحة اليسرى). حين تومض صورة الشروق فى العين الأخرى، يرسل القرد إشارة برؤية هذا النمط واختفاء صورة القرد الصغير. رغم أن وجه القرد هو المحفز المفضل للخلية، تهبط استجابة الخلية إلى الصفر. على العكس، إذا ثبت القرد عينه على نمط الشروق برهة، وومضت صورة وجه القرد، يرى الكائن الوجه وتتأجج الخلية بقوة (اللوحة اليمنى). لا تتأثر الخلايا العصبية فى المناطق البدائية عموما بهذه التغيرات فى الإدراك. معدل عن Sheinberg and Logothetis, 1997).

تصرفت غالبية خلايا الفص الصدغى السفلى والثلم الصدغى العلوى بهذه الطريقة. حين يدرك القردُ المحفِّزَ المفضل للخلية، تستجيب الخلية. إذا قُمِعت الصورةُ على مستوى الإدراك، تسقط الخلية فى الصمت، حتى تبدأ حشود خلايا اللحاء البصرى الأولي التأجج بقوة لرؤيته.(٢٤)

تذكر من الهامش ١٧ فى الفصل الثانى أن جرَّاح الأعصاب إسحق فرايد غرس أقطاب عميقة فى الفص الصدغى المتوسط والفص الجبهى فى مرضى الصرع لتحديد موضع بؤرة الصرع. استغل جبريل كريمان Kreiman، طالب فى

معملى، مزية هذا الوضع الفريد ليسجل من أقطاب مجهرية مدعومة بمجسات على عمق أكبر بينما يشعر المرضى بقمع الوميض فى أسرتهم فى العيادة. أصبحت هذه التجربة ممكنة بعد أن اكتشف كريمان خلايا فى الفص الصدغى المتوسط تأججت لفئات خاصة من الصور، مثل الحيوانات أو أشخاص مشهورين (انظر الشكل ٢-٢). وجدنا أن حوالى ثلثى كل الخلايا المستجيبة فى الفص الصدغى المتوسط تلت المُدْرَك. أى إن الخلية تأججت حين رأى المريض الصورة بوعى، لكن تأججها تقلص إلى مستوى القاعدة والصورة غير مرئية، مع بقائها فى العين. لم تستجب أية خلية لمحفز مقموع على مستوى الإدراك، ومن ثم لم يكن هناك تلميح لتمثيل لاشعورى فى هذه الأجزاء من الدماغ.[٢٥] مما يؤكد أن بيانات الخلية الواحدة من البشر الذين ليست لهم خبرة سابقة بمثل هذه المحفزات مماثلة للتسجيلات من القرود المدربة تدريبا جيدا.

١٦ ـ ٤ أسئلة مفتوحة وتجارب مستقبلية

استكشاف الأساس البيولوجى العصبى لمحفزات الإدراك فى الذروة. كل تقنية متاحة تُضغَط فى الخدمة لتنقيب أعمق فى الآليات المسئولة عن تحولات محتوى الوعى. مثل أى برنامج بحثى مثمر، يفتح الاستكشاف العصبى للمُدْرَكات مزدوجة الثبات الباب لمزيد من الاطلاع على طبيعة الارتباطات العصبية للوعى.

ثمة سؤال يبقى بلا إجابة عن دور تزامن الشوكات بين الخلايا العصبية التى تشفر للنمط السائد على مستوى الإدراك. هل تزامن الشوكات ضمن خلايا اللحاء الصدغى السفلى حدث فاصلاً للارتباطات العصبية للوعى؟ وبطرح السؤال بشكل مختلف، هل درجة عالية من التزامن ضرورية لتشكيل ائتلاف سائد يناظر مُدْرَكًا معينًا؟[٢٦]

ثمة سؤال آخر عن مدى التباين المشترك للنشاط المتأجج (لبعض) هذه الخلايا مع مُدْرَك الحيوان أو إن كانت هذه الخلايا هى الارتباطات العصبية للوعى بهذا المُدْرَك. ما مدى قوة الارتباط بين البداية الدقيقة وقوة التأجج وسلوك الحيوان على أساس محاولة لمحاولة. [٢٧]

بيولوجيا الأعصاب ليس علم ملاحظة فقط، لكنه أيضًا بشكل متزايد علم إزعاج الجهاز العصبى بطرق يمكن قياسها للتأثير فى سلوك الكائن. مثل هذه التجارب الاقتحامية يمكن أن تساعد على عبور الفجوة بين الارتباط والعلية.

أسهل طرق التدخل هى التحفيز المجهرى لأجزاء الدماغ. هل يمكن توجيه أوقات السيادة أثناء التنافس باستثارة مجموعات الخلايا التى تتابع المُدْرَك فى اللحاء الصدغى السفلى أو فى الفص الصدغى المتوسط؟ كما ذكرنا فى القسم ٨-٥، يتجمع التمثيل الخلوى للوجوه فى اللحاء الصدغى السفلى. ربما يطيل حقن نبضات ثنائية القطب من التيار من قطب داخل اللحاء إلى بقعة من خلايا اللحاء الصدغى السفلى - فترة السيادة أو تقصِّر فترة القمع لإدراك وجه حين يتنافس مع صورة من نوع آخر.

تتضمن الأشكال الأخرى للتدخل، وهى أشكال تصبح عملية بسرعة، إسكات مجموعات خلايا محددة جينيا، مثل الخلايا العصبية فى الطبقات السطحية من اللحاء الصدغى السفلى (انظر ما يلى)، التى تمتد إلى الفصين الجبهيين. هل يبقى حيوان، جُرِّد من هذه الخلايا التى تتصل بمقدم اللحاء، واعيا؟ هل يظل يرسل إشارات لانتقالات الإدراك؟

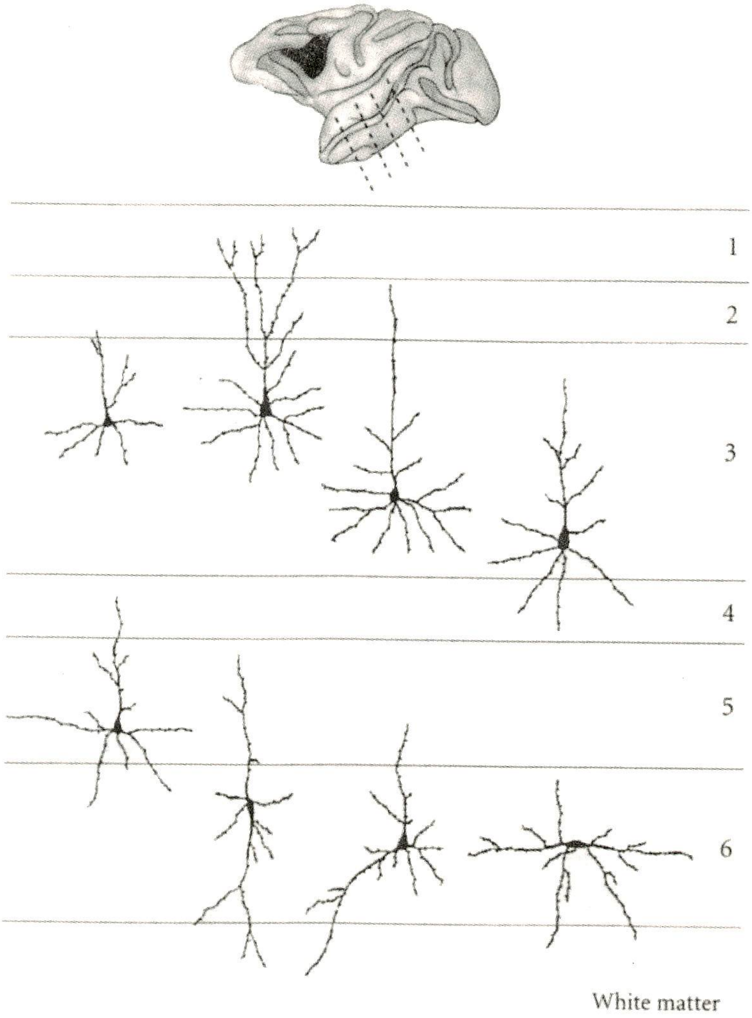
أى أنواع الخلايا متورطة؟

من غير المعقول أن كل الخلايا المتراصة فى اللحاء الصدغى السفلى والثلم الصدغى العلوى، التى تتابع المُدْرَك، تعبِّر عن صفاتها الظاهرية مباشرة. لابد أن بعضها متورط فى العمليات المسئولة عن أن للفائز كل شىء؛ ولابد أن خلايا أخرى تُرحِّل هوية الفائز إلى مراكز الحركة لاستهلال السلوك أو إلى الذاكرة قصيرة المدى للاستدعاء فى المستقبل؛ ولابد أن بعضها يحمل إشارة مؤقتة تشير إلى تحول الإدراك؛ ويبقى أن بعضها الآخر ربما يمثل المعلومات نفسها لكن بطريقة متأخرة.

حين أتأمل الصورة الزمنية لاستجابات الخلايا فى هذه المناطق، يذهلنى تنوعها الهائل. يمكن ملاحظة حديقة كاملة من الأنماط. تتأجج بعض الخلايا مؤقتًا وتستجيب أخرى بشكل أكثر ديمومة. تتأجج بعض الخلايا فى دفعات،

وتظهر أخرى تفريغًا إيقاعيًا واضحًا بمعدل ٤-٦ هرتز، وتصل أخرى إلى الذروة (كما فى ناحية اليد اليمنى من الشكل ١٦-٤) مبكرًا قبل الاستقرار على سرعة للتأجج أكثر هدوءا واستمرارية. هل يعكس هذا أنواعا متميزة من خلايا بوظائف وأنماط اتصال متميزة؟ من المهم معرفة هذا.[٢٨]

يمكن أن يتحسن البحث عن الارتباطات العصبية للوعى برسم خريطة للتطور الزمنى لوضوح المُدْرَك وسطوعه وصفات أخرى على فئات معينة من أنماط الشوكات. هل يُشفَّر المُدْرَك بسعة التفريغ المستمر بعد كسر من الثانية، أم بدرجة التزامن بين الخلايا العصبية المتجاورة؟ على تجربة ربما تكشف السر التسجيل أثناء قمع الوميض قبل إحداث التخدير سريع المفعول وبعده. ما تأثير تنويم القرد؟ بصرف النظر عن طبيعة الارتباطات العصبية للوعى، ينبغى أن تُمْحَى بعد هذا الإجراء.



الشكل ١٦ ـ ٥ **الركيزة الخلوية للارتباطات العصبية للوعى.** ملصق للخلايا العصبية فى اللحاء الصدغى السفلى فى القرد (مأخوذ من أربع شرائح محددة بخطوط منقطة) تمتد إلى جزء محدود من لحاء مقدم الفص الجبهى (منقطة فى الرسم). معدل عن de Lima et al., 1990.

تشريح الجهاز العصبى حاسم لمزيد من التنقيب عما يحدث فى اللحاء الصدغى السفلى. فى دراسة بارزة صور جون موريسون Morrison وزملاؤه فى معهد "سوك" فى "لا جولا"، كاليفورنيا، خلايا اللحاء الصدغى السفلى التى استهدفت مناطق حول الثلم الرئيسى فى لحاء مقدم الفص الجبهى (الرسم فى الشكل ١٦-٥).[٢٩] وُجِدتْ أجسام خلاياها فى الطبقة الثالثة السطحية وفى الطبقتين العميقتين الخامسة والسادسة. ميز علماء التشريح، اعتمادًا على شكل التفريعات الشجرية ووضع الصفائح، ثمانية أنواع من الخلايا (الشكل ١٦-٥). هذه الخلايا الهرمية، مجموعةً، وتفريعاتها الشجرية تغطى عمق اللحاء برمته، رغم أن كل نوع لا يغطى إلا جزءًا رأسيا محدودًا.

ربما يشكل بعض هذه الخلايا الممتدة جزءًا من الارتباطات العصبية للوعى، لكن أية خلايا؟ فى أية طبقات من لحاء مقدم الفص الجبهى تنتهى محاورها؟ هل تتفرع لتمد مناطق لحائية أخرى بالأعصاب؟ ما العلاقة بين هذه الفئات المحددة تشريحيا والأنماط المميزة للشوكات التى ذكرتها من قبل؟ هل تستقبل أية خلية من هذه الخلايا مُدْخَلا مشبكيا من الخلايا العصبية ذاتها فى لحاء مقدم الفص الجبهى الذى تمتد إليه، ومن ثم تشكل حلقات مباشرة؟ هل ترتبط بطرق معينة مع أهدافها بعد المشبكية؟ هل لها توقيع جزيئى فريد يمكن استغلاله بمهارة لإغلاقها بسرعة ودقة وبشكل يمكن عكسه لوقت وجيز؟

لا يوجد عالم بيولوجيا جزيئية يرضى بمعرفة أن كسرًا ما من كل إنزيمات الكيناز،[٣٠] أو أن كل البروتينات المرتبطة بتخصصات بنيوية فى المشبك، تتغير أثناء المرونة المشبكية. بدلا من ذلك، يسعى علماء البيولوجيا لتحديد أى البروتينات من مئات البروتينات الضرورية للوظيفة المشبكية تزداد حساسيتها وأيها تنخفض حساسيتها، وكيفية ارتباطها معا، وأيها توجد فى الغشاء وأيها فى السيتزول،[٣١] إلخ. لماذا ينبغى أن يرضى علماء الدماغ بأقل من التحديد فيما يتعلق بالإدراك؟

سيادة الإدراك ولحاء مقدم الفص الجبهى

لا يمتد اللحاء الصدغى السفلى والمناطق المجاورة إلى لحاء مقدم الفص

الجبهى فقط، بل تستقبل معلومات منه أيضًا. ما دور التغذية الرجعية فى التنافس والظواهر المرتبطة به؟ رأيتُ فى الفصل الرابع عشر أن الارتباطات العصبية للوعى تتطلب اتصالا بمراكز التخطيط فى مقدم الدماغ. ينبغى أن يكون هذا شارعًا فى اتجاهين، بنشاط تغذية أمامية فى اللحاء الصدغى السفلى، تعززه تغذية رجعية من المناطق الجبهية. دون هذه المناطق (مثلا، بتبريدها أو تعطيلها بشكل ما)، يُفقَد الإدراك الواعى، رغم أن نوعًا من الدوران التلقائى بين المحفِّزَيْن قد يستمر فى الحدوث أثناء تنافس العينين. ربما تظل خلايا اللحاء الصدغى السفلى تظهر درجة من التعديل مع هذه التغيرات، بشكل أقل تموجا مما فى كائن سليم عصبيا. يمكن عاجلا اختبار مثل هذه النبوءات مباشرة.

فى دراسة إبداعية وضع إريك لومر Lumer وجرينت ريز Rees فى يونيفرستى كوليج فى لندن تحولات ناجمة عن التنافس مقابل تحولات خالصة ناتجة عن الشبكية (أى حين استبعدت فعليا صورة أو الأخرى من تلك العين). استنتجا أن المناطق الجبهية الجدارية تنشط كلما تحولت السيادة من مُدرَك إلى الآخر.[٢٢] تُفترَض هذه الفرضية نتيجة ملاحظة إكلينيكية عن معاناة المرضى بتلف فى مقدم الفص الجبهى من تنقل غير طبيعى فى الإدراك مزدوج الثبات.[٢٣]

إذا كانت هذه المناطق تساعد فى اتخاذ القرار بموعد التحرك، ينبغى أن يكون لها مدخل إلى صفات الصورة المقموعة حاليا. تذكَّرْ من القسم ١١-٣ أن الخلايا فى الثلم الرئيسى وحوله فى لحاء مقدم الفص الجبهى تعمل بمثابة ذاكرة قصيرة المدى. كما هو موضح فى الشكل ١٦-٥، يمتد اللحاء الصدغى السفلى إلى هذه المناطق. هل خلايا مقدم الفص الجبهى، التى تشفر الصورة التى سبقت رؤيتها وقمعت، مسئولة عن ظهورها من جديد فى الوعى فى الدورة التالية؟ [٢٤]

١٦ ـ ٥ الملخص

مثل حجر رشيد، تسمح محفزات الإدراك للباحث الجسور بالترجمة بين ثلاث لغات متميزة ـ اللهجة الذاتية للإحساس والخبرة الظاهرة، واللغة الموضوعية لعلم نفس السلوك، واللغة الميكانيكية لعلم الدماغ، ويعبر عنها

بالشوكات وتجمعات الخلايا العصبية. وتقدم أفضل أمل فى الكشف عن الارتباطات العصبية للوعى.

تنافس العينين وقمع الوميض مثالان شائعان لمحفز إدراك من عدة محفزات، وهما واضحان ويمكن التحكم فيهما بسهولة. تُسقَط صورتان فى العينين، لكن لا تُرَى إلا واحدة وتُقمَع الأخرى. أثناء التنافس، تدخل الصورتان الوعى وتبرحانه فى رقصة لا تنتهى. ما تراه ليس صورة مركبة من الاثنتين، بل صورة واحدة فقط- نتيجة تنافس لا هوادة فيه حيث "للفائز كل شىء". قمع الوميض مشابه لتنافس العينين لكن يمكن التنبؤ به بشكل أكبر، حيث تلغى الصورة الجديدة الصورة القديمة دائما.

يوضح الدليل الفسيولوجى العصبى من القرود المدربة أن جزءًا ضئيلا من خلايا اللحاء البصرى الأولي والمنطقة البصرية الثانية (ولا خلية فى النواة الركبية الجانبية) تغير معدل تأججها مع الإدراك. هذه التغيرات متواضعة مقارنة بتغيرات الكل أو لا شىء فى الإدراك، التى تحس أثناء التنافس. تتأجج كل خلايا اللحاء البصرى الأولي تقريبا مستقلةً عن الإدراك الواعى للكائن، مما يفسر أن بعض التأثيرات اللاحقة يمكن أن تستثار بشكل يعول عليه بالمحفزات المقموعة، وغير المرئية.

يرتبط أكثر من ثلث الخلايا العصبية فى المنطقة البصرية الرابعة والمنطقة الصدغية الوسطى بالمُدرَك. يشفر الكثير منها المحفز السائد، ويمثل كسرٌ دال النمطَ غير المرئى.

يتبع معظم خلايا اللحاء الصدغى السفلى والثلم الصدغى العلوى سلوك الحيوان. لا شىء منها يمثل المحفز المقموع. تحكى تسجيلات الخلية الواحدة من الفص الصدغى المتوسط فى الإنسان القصة ذاتها - تتبع غالبية الخلايا الانتقائية المُدرَكَ ولا تشير خلية إلى الصورة غير المرئية. هذا التأثير قوى جدا ومتسق حتى أن معدلات تأجج هذه الخلايا يمكن أن تستخدم بمصداقية عالية لاستنباط سلوك الكائن.

فى هذه المنطقة العليا من المسار البطنى، مسار الرؤية للإدراك، يحكم الائتلاف العصبى المنتصر بسمو. بعض الأعضاء من أكثر المرشحين حظا

للارتباطات العصبية للوعى. لفحص هذا الادعاء بشكل أكبر، من الضرورى ربط البنية المجهرية للإدراك الواعى بالسلوك المتأجج الديناميكى لهذه الخلايا العصبية وتأسيس ارتباط سببى بين الاثنين باقتحام الخلايا العصبية فى هذه المناطق بشكل مناسب.

قدم الاستكشاف الفسيولوجى العصبى لمحفزات الإدراك كنزا دفينا للبصائر فى السطح البينى بين العقل والجسد. ثمة مصدر آخر للمعلومات بشأن طب أعصاب الارتباطات العصبية للوعى وهو التدخل الجراحى فى دماغ الإنسان. وأناقش هذا فيما يلى.

الهوامش:

(١) باسكال Pascal (١٦٢٣ ـ ١٦٦٢): رياضى وفيزيائى وكاتب وفيلسوف فرنسى (المترجم).

(٢) يقدم Gregory, 1997 تعليقا شهيرا عن سيكولوجيا الأشكال ثنائية الثبات والملتبسة. لخلاصة وافية عن هذه الأوهام وكثير غيرها، انظر .Seckel, 2000, 2002

(٣) انظر Bayne and Chalmers, 2003 والمجلد الذى حرره Cleeremans, 2003 فى الموضوع.

(٤) محفز واحد لكثير سلسلة من نورين وقد ناقشناها فى الهامش ٢٤ فى الفصل الخامس عشر. ترى أحيانًا المحفز ومضة واحدة من نور، وأحيانًا أخرى ومضتين.

(٥) توصف الأوجه الظاهرية لتنافس العينين بشكل جيد فى Yang Rose and Blake, 1992 يلخص Blake and Logothetis, 2002 الملاحظات السيكولوجية والفسيولوجية وثيقة الصلة بالموضوع. يفحص Lee and Blake, 1999 إدراك العينين الناشئ عن التنافس بين مُدْخَل العينين أو بين النمطين اللذين نشآ فى عينين منفصلتين. يرى Andrews and Purves, 1997 بشكل مثير أن تنافس العينين يحدث غالبا فى الحياة اليومية أكثر مما كان معروفًا.

(٦) التكرار الذى تحدث به كل فترة هيمنة مرسوم بيانيا فى رسم بيانى، تظهر دالة سلسلة (Levelt, 1965). بتعبير آخر، لا يمكن التنبؤ بفترة الهيمنة على أساس حالة بحالة، لكن تحكمها عملية حدسية بدرجة ما من الانتظام، بفترة مرحلة من الهيمنة مستقلة إحصائيا عن فترة النمط التالى. ترتبط اضطرابات المزاج، مثل الاكتئاب، بإطالة درامية لأوقات الهيمنة (Pettigrew and Miller, 1998). يمكن أن تتأثر فترة هيمنة نمط بالانتباه له بشكل انتقائى.

(٧) يلخص Blake, 1989 المناقشات حول اعتبار التنافس كبحا متبادلا بين الخلايا العصبية فى المراحل البصرية البدائية بشكل جيد. الرأى بأن التنافس تعبير عن سلوك استكشافى تحت سيطرة العمليات المعرفية رفيعة المستوى فى الفص الجبهى، يُعبِّر عنه بقوة فى -Leo pold and Logothetis, 1999؛ انظر أيضًا Lumber and Rees, 1999 تتقلب الأفكار المتعلقة بأسباب التنافس- العمليات المدفوعة حسيا منخفضة المستوى مقابل العمليات الذهنية رفيعة المستوى- وإدراكها فى المجتمع العلمى، هى ذاتها فى آخر مائتى سنة.

(٨) شملت هذه التجارب قرودا مستيقظة مثبتة عيونها (Lehky and Maunsell, 1996) .

(٩) نيكوس لوجوثيتيس -1950) Logothetis): عالم أعصاب، ولد فى اسطنبول، من أصول يونانية (المترجم).

(١٠) ماسوشوسيت Massauchusetts: ولاية فى نيو إنجلند، شمال شرق أمريكا (المترجم).

(١١) مهد الطريق لتنافس العينين فى القرود.Myerson, Miezin and Allman, 1981 مجموعة أعمال لوجوثيتيس عن فسيولوجيا الأعصاب وسيكوفيزياء المدركات ثنائية الثبات فى البشر والقرود هائلة وتشمل Logothetis and Schall, 1989؛ Logothetis, Leopold and Sheinberg, 1996؛ Leopold and Logothetis, 1997؛ Sheinberg and Logothetis, 1998؛ Logothetis, 1999؛ Leopold et al., 2002. وللمراجعات، انظر Blake and Logothetis, 2002.

(١٢) للبشر والقرود أزمنة مماثلة لانتشار الهيمنة أثناء التنافس ويتأثرون بالطريقة نفسها بتنوع تباين المحفّز (Leopold and Logothetis, 1996) يستخدم لوجوثيتيس ضوابط إضافية للتأكد من أن القرود تسجل إدراكها بصدق.

(١٣) مليون دولار ليست بعيدة جدا عن التكلفة الفعلية للقيام بهذه التجارب الضرورية فى عدة قرود على مدى بضع سنوات. تتطلب هذه التجارب علماء ومساعدين على درجة عالية من التدريب والكثير من المعدات الخاصة والتسهيلات.

(١٤) تتفق هذه النتائج السلبية مع نقص الكبح القوى بين العينين فى خلايا العينين فى اللحاء البصرى الأولي (Macknik and Martinez Conde, 2004). سجل Gail, Brinksmeyer and Eckhorn, 2004 جهود المجال الموضعى مع النشاط الشوكى المشترك للكثير من الخلايا العصبية فى اللحاء البصرى الأولي فى القرود المدربة على الإشارة إلى مُدْرَكها أثناء تنافس العينين. مثل Logothetis, Leopold and 1996 لم يروا تغيرا دالا فى التفريغ الشوكى والحيوان يشير إلى مدرك أو آخر. ومن اللافت أن جهود المجال الموضعى تغيرت عند ترددات أقل من ٣٠ هرتز بحالة إدراك القرد. ذكر فرايز وزملاؤه (Fries et al., 1997, 2001c) أن التنافس فى القطط المصابة بالحَوَل لم يؤثر فى متوسط معدل تأجج خلايا اللحاء البصرى الأولي. بدلا من ذلك، وجد فرايز وزملاؤه أن الهيمنة يشار إليها بدرجة تأجج تزامن الشوكات فى حزمة تردد ٢٠-٧٠ هرتز. للخلايا التى تشفر المحفز المهيمن اللحاء البصرى الأولي فى السنورى ترابط شوكى أعلى مقارنة بالخلايا العصبية التى تمثل الصورة المكبوحة. أى تأثير سببى، إن وجد، لتغيرات الإدراك فى حزم الترددات المختلفة على اللحاء خارج اللحاء البصرى الأولي غير واضح.

(١٥) Blake and Fox, 1974؛ Blake, 1998

(١٦) Polonsky et al., 2000.

(١٧) Tong and Engel, 2001.

(١٨) فى تجربة مذهلة كف Logothetis, 2004 الخلايا الهرمية فى اللحاء البصرى الأولي بصب موضعى لمادة كيميائية. استخدم التسجيلات الكهربية لتأكيد أن هذه الخلايا سكنت وقاس فى الوقت ذاته تدفق الدم فى القرد المخدَّر. بشكل لافت، لم تتأثر بشكل أساسى سعة جهد المجال الموضعى وإشارة الرنين المغناطيسى بالمُدْخَل البصرى. بتعبير آخر، التُقِط الإفراز المشبكى المستثار حسيا المطلوب لطاقة الأيض بتقنية التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى. حتى لو لم تولد الخلايا التى ينبغى أن تنقل النتيجة إلى مناطق أخرى من الدماغ جهود فعل.

(١٩) Leopold and Logothetis, 1996.

(٢٠) Logothetis, 1998 Sheinberg and Logothetis, 1997

(٢١) Epstein and Kanwisher, 1998 انظر أيضًا Tong et al., 1998.

(٢٢) Wolfe, 1984، درس سيكولوجيا قمع الوميض فى البشر، ووضح أن هذا التأثير ليس نتيجة للتقنع الأمامى، أو التكيف مع الضوء، أو آلية أخرى تقلل وضوح الصورة الأولى. يمكن إدخال فسيلة بيضاء بين عرض أحادى والوميض دون تأثير على النتيجة.

(٢٣) عند الاستماع إلى طقطقة خلية عصبية فى اللحاء الصدغى السفلى أو الثلم الصدغى العلوى وشوكاتها المضخمة تصب فى مكبر صوت، ينتاب المرء شعور مميز بأنه يستطيع معرفة الرافعة التى سيدفعها القرد. وتأكد هذا بإجراء إحصائى قوى يتنبأ فيه التعديل المؤقت لمعدل تأجج أية خلية فى اللحاء الصدغى السفلى والثلم الصدغى العلوى بسلوك الحيوان (Sheinberg and Logothetis, 1997). يستبعد اللحاء الصدغى السفلى والثلم الصدغى العلوى من مناطق النتاج، مستبعدة احتمال أن علماء وظائف الأعضاء كانوا يستمعون للمراحل الحركية التى تجهز لنقل إحدى اليدين أو الأخرى.

(٢٤) D. Leopold and N. Logothetis، اتصال خاص.

(٢٥) سجلت تجارب قمع الوميض نشاط الخلايا المفردة فى اللوزة، ولحاء الشم الداخلى، وقرن آمون، والتلفيفة حول قرن آمون فى المرضى الواعين غير المدربين (Kreiman, Fried and Koch, 2002). فى القرد الآسيوى ارتباط قوى بين اللحاء الصدغى السفلى والمنطقة الصدغية الوسطى.

(٢٦) يرى سنجر Singer وزملاؤه أن جهود الفعل فى خلايا اللحاء البصرى الأولي، التى تشفر للصورة السائدة على مستوى الإدراك أكثر تزامنًا من تلك المرتبطة بالصورة المقموعة (Engel et al., 1999؛ Engel and Singer, 2001 ؛ انظر أيضًا الهامش ١٤ فى هذا الفصل). لم تحل تسجيلات الأقطاب المتعددة فى القرد النشط هذه القضية. وجد Murayama, Leopold and Logothetis, 2000 أن التزامن بين خلايا اللحاء البصرى الأولي والمنطقتين البصريتين الثانية والرابعة أعلى أساسا حين ترى العينان الصورة نفسها مقارنة بوقت تحفيز العينين بصور مختلفة.

(٢٧) Parker and Krug, 2003 ؛Gold and Shadlen, 2002

(٢٨) يأتى تلميح إلى أن فئات معينة من الخلايا ربما تكون متورطة من الملاحظة العارضة بأن خلايا المنطقة الصدغية الوسطى كلها تقريبا، التى عدلت معدل تأججها من إدراك الحاجز المتحرك، كانت فى الطبقات العميقة (Logothetis and Schall, 1989).

(٢٩) انظر de Lima, Voigt and Morrison, 1990. حقن هؤلاء الباحثون صبغة قرب الثلم الرئيسى فى لحاء مقدم الفص الجبهى فى أربعة قرود. سرت المادة فى المحاور وانتقلت فى اتجاه عكسى من المشابك عائدة إلى جسم الخلية. بعد بضعة أسابيع، ذُبحت الحيوانات وفحصت قطاعات من اللفيفة الصدغية السفلى للبحث عن علامات مؤشر الأصباغ فى الخلايا العصبية. هذه الخلايا المحددة بشكل ضعيف حقنت بعد ذلك داخل الخلية بصبغة ثانية ملأت بسرعة التفريعات الشجرية كلها وجسم الخلية، مما سمح بإحياء بنيتها بالتفصيل. استرد موريسون وتلاميذه أكثر من ٤٠٠ خلية بهذه الطريقة، كلها مغطاة بالأشواك، مما يشير إلى أنها خلية مثيرة. ربما تستطيع تقنيات الصبغ الديناميكى الضوئى photodynamic تسريع هذا العمل المكثف (Dacey et al., 2003).

(٣٠) إنزيمات الكيناز kinase: مجموعة إنزيمات تساعد على نقل مجموعة فوسفات (المترجم).

(٣١) سيتزول cytosol: مكون مائى فى سيتوبلازم الخلية (المترجم).

(٣٢) Lumer and Rees, 1999؛ انظر أيضًا Lumer, Friston and Rees, 1998. تنشط مناطق جبهية وجدارية مماثلة أثناء تنقل الإدراك عند رؤية عدد من الصور مزدوجة الثبات (مثل مكعب نيكر وشكل روبين Rubin وجه/ زهرية؛ انظر Kleinschmidt et al., 1998).

(٣٣) يعانى المرضى بتلف فى الفص الجبهى الأيمن من التحول بصعوبة من مُدرَك إلى الآخر عند رؤية محفزات مزدوجة الثبات (Wilkins, Shallice and McCarthy, 1987؛ Ricci and Blundo, 1990؛ Meenan and Miller, 1994).

(٣٤) إذا كان الوضع كذلك فإن هذا يوحى بأن الذاكرة العاملة وسيادة الإدراك متداخلتان. هل يمكن لبعض التنوع الكبير فى فترات السيادة مع اختلاف الأفراد أن يكون نتيجة التنوع فى ذاكرتهم العاملة؟

الفصل السابع عشر

انشطار الدماغ يشطر الوعى

بدا الأمر وكأن فى داخلى عقلين يتجادلان فى الأمر. كان "الصوت" نقيا وحادا وآمرًا. كان على صواب دائما، واستمعتُ له وهو يتكلم ونفذتُ قراراته. هام العقل الآخر فى سلسلة متقطعة من الصور والذكريات والآمال، التى اهتممتُ بها فى أحلام اليقظة وأنا أطيع أوامر "الصوت". كان على أن أصل إلى نهر الجليد. كان على أن أزحف على نهر الجليد، لكننى لم أفكر فيما يأتى. إذا صارت رؤاى حادة، بدرجة تجعلها ضيقة، حتى لا أفكر إلا فيما يتعلق بتحقيق أهداف محددة من قبل لا أكثر. كان الوصول إلى نهر الجليد هدفى. أخبرنى "الصوت" عما على أن أفعله بالضبط، وأطعتُ وعقلى الآخر يقفز بشكل مجرد من فكرة إلى أخرى.

جوى سيمبسون(1) من "لمس الفراغ"

إذا كان الوعى يقطن قطاعًا من الدماغ، ألا يمكن أن ينشطر بتقطيع هذه المنطقة إلى اثنتين؟ يبدو هذا أمرًا سخيفًا لا يختلف عن الاعتقاد بتنفيذ التجربة.

للدماغ بنية متناسقة جدا، من نصفى المخ ومهادين ومجموعتين من العقد القاعدية، إلخ. هذا التناسق من أبرز خصائصه. لأن الوعى فى المفهوم الشائع يحس بشكل فريد، ربما تستنتج أن أساسه العصبى لابد أن يُعبَّر عنه ببنية فيزيائية واحدة. وإذا وجدت الارتباطات العصبية للوعى فى نصفى الدماغ،

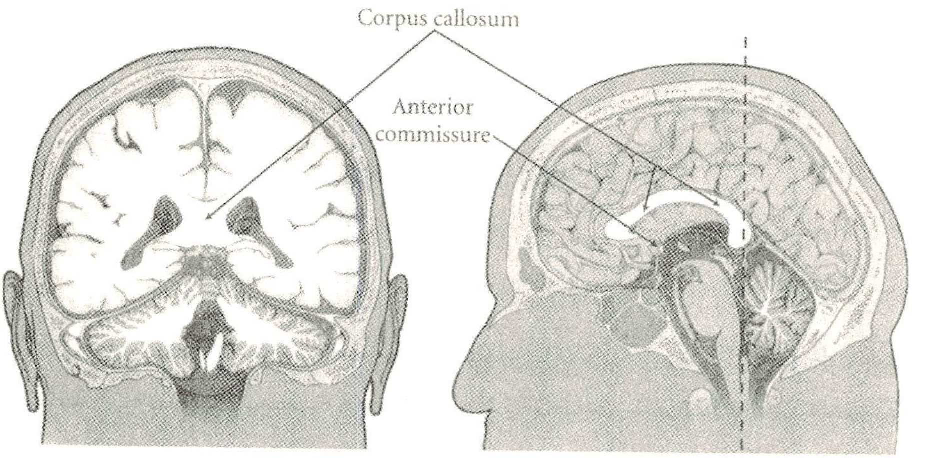
الأيسر والأيمن، فمن أين يأتى الإحساس بالاتساق؟ هذا التيار فى التفكير أقنع ديكارت فى القرن السابع عشر بأن الغدة الصنويرية، بنية من بضع بنى توجد منها نسخة واحدة فى خط الوسط، موضع الروح.(٢)

ماذا يحدث إذا فُصِل نصفا المخ، مثل التوءم السيامى؟ بافتراض إمكانية تحمل الحيوانات أو الناس لهذه المحنة، ما مدى سوء حالتهم بعد ذلك؟ هل يحسون بانشطار فى إدراك العالم؟

١٧ - ١ عن صعوبة العثور على شىء

إذا كنت لا تعرف عما تبحث

الجسم الجاسئ عموما أكبر تجمع للألياف التى تربط نصف اللحاء بالنصف الآخر مباشرة (الشكل ١٧ - ١). **نقطة الالتقاء الأمامى** حزمة ربط أصغر. علامة مهمة، نقطة الصفر لمعظم أجهزة التنسيق، الشائعة، ثلاثية الأبعاد، المستخدمة فى تصوير الدماغ.(٣)



الشكل ١٧ - ١ **الجسم الجاسئ** corpus callosum : تربط هذه الكتلة المكونة من ٢٠٠ مليون محور، مع نقطة الالتقاء الأمامى anterior commissure الأصغر بكثير، نصفى المخ. تُرحّل المعلومات الحسية أو الرمزية من جانب إلى الآخر. فى عملية انشطار كامل للدماغ، تُقطع حزمتا الألياف. معدل عن Kretshmann and Weinrich, 1992 .

فى بعض حالات النوبات الصرعية العضال، يُقطَع جراحيا جزء من هذه المسارات بين نصفى المخ أو كلها فى ملاذ أخير، مما يمنع النشاط الكهربى المنحرف من الانتشار من نصف المخ إلى النصف الآخر ليسبب تشنجات عامة. تحقق هذه العملية، وقد أجريت أول مرة فى أربعينيات القرن العشرين ومازالت تُجرَى أحيانًا حتى اليوم، الهدف منها وتخفف النوبات. اللافت أكثر فى هؤلاء المرضى ذوى الدماغ المنشطر، بمجرد شفائهم من الجراحة، سلامتهم فى الحياة اليومية. لا يبدون مختلفين عما كانوا عليه قبل العملية. يرون ويسمعون ويشمون كسابق عهدهم، يتحركون ويتحدثون ويتفاعلون مع الآخرين بشكل مناسب. يتمتعون بإحساسهم المعتاد بالذات ولا تبدو عليهم تغيرات واضحة فى إدراك العالم (على سبيل المثال، لا يختفى المجال الأيسر لإبصارهم). ارتبك الإكلينيكيون كثيرا نتيجة هذا النقص فى الأعراض.

مغزى ذلك عند علماء الأعصاب أن الدماغ يتمتع بقدرة كبيرة على التكيف. إذا حدث به تلف يعوِّضه ويحصل على ما يحتاجه من معلومات بطريقة تنم عن حيلة واسعة جدا، بالتلميح المتقاطع أو بحيل أخرى. إذا لم تكن لديك فكرة عن الخطأ، عن العيوب المتوقعة، يمكن أن تفتقدها تمامًا. هذا درس استراتيجى مهم يجب تذكره أثناء مطاردة الارتباطات العصبية للوعى.

تغير الوضع بشكل درامى مع البحث الريادى الذى أجراه روجر سبيرى[٤] فى الخمسينيات والستينيات من القرن العشرين فى مؤسستى الأصلية، معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، العمل الذى كان وراء فوزه بجائزة نوبل ١٩٨١ فى الطب. بملاحظة دقيقة للضفادع والقوارض والقطط والقرود والقردة العليا التى قطعت فيها الروابط اللحائية بين نصفى المخ، أوضح سبيرى ومعاونوه أن هذه الحيوانات تتمتع بعقلين منفصلين تماما.[٥] يمكن تعليم نصف الدماغ استجابة وتعليم النصف الآخر استجابة أخرى، حتى لو كانتا متعارضتين، للموقف ذاته.

اختبر جوى بوجن، جراح أعصاب يعمل فى مدرسة الطب بجامعة لوما ليندا Loma Linda، مع سبيرى وتلميذه مايكل جازانيجا (الآن فى درتموت كوليج Dartmouth College فى نيو همبشاير[٦] وشخصية مؤسسة لعلم أعصاب المعرفة)، تنبؤات من هذه التجارب عن الحيوانات فى مرضاه.[٧] بشكل يدعو

للسخرية - فى ضوء الصعوبة السابقة فى اكتشاف الخطأ فى هؤلاء المرضى - تبينت السهولة إلى حد ما فى توضيح أن شيئًا خطيرًا مفتقدًا فى هؤلاء المرضى.

١٧ - ٢ لا يؤدى نصفا المخ الوظائف ذاتها

لا تنبثق المعلومات عن تخصص نصفى المخ من ملاحظة مرضى الدماغ المنشطر فقط بل أيضًا بحقن أميتال بربيتوريت الصوديوم ("ما يعرف باسم "مصل الحقيقة") فى الشريان السباتى الأيسر أو الأيمن. العقار المحقون يضع نصف المخ الذى يتغذى بهذا الشريان فى حالة نوم لبضع دقائق، ومن ثم يمكن اختبار سلوكيات النصف المقابل المستيقظ.

أبرز نتائج هذه الفحوصات أن القدرة على الكلام، وبقدر أقل على فهم اللغة، محددة، فى نصف واحد من المخ، النصف السائد. فى أكثر من تسعة من كل عشرة مرضى النصف اللحائى الأيسر هو الذى يتحدث ويتواصل من خلال الكتابة، ويتعامل مع الأوجه الأخرى للغة فى يسر. للنصف الأيمن من المخ قدرة محدودة على فهم اللغة ولا يمكنه أن يتكلم (مع إنه يستطيع الغناء).[٨] حين يتحدث مريض منشطر الدماغ، يسيطر النصف المهيمن من المخ. النصف غير السائد من المخ أخرس. لكن يمكنه، مع ذلك، أن يغنى، بإيماءة الرأس أو بصناعة أغانى ذات معنى بأصابع اليد المقابلة.

اليوم يقدم التصوير الوظيفى طريقة ملائمة وآمنة لتصور تخصص نصفى المخ فى المتطوعين الأصحاء مباشرة. ويؤكد هذا التصوير استنتاجات العمل الإكلينيكى. فى معظم الناس، النصف الأيسر من المخ - منطقة بروكا Broca فى لحاء مقدم الفص الجبهى ومنطقة فيرنيك Wernicke فى الفص الصدغى - مسئول عن معالجة اللغة (الشكل ١٥-٢). فى بقية هذا الفصل أفترضُ أن النصف الأيسر هو النصف السائد.[٩]

النصف الأيمن أفضل فى المهام التى تتطلب معرفة وعلاقات فضائية، وانتباهًا بصريا (تذكرْ من القسم ١٠-٣ أن الإهمال أو الانطفاء الفضائى يتبع عادة تلف الفص الجدارى الأيمن)، والإدراك البصرى، مثل التعرف على الوجوه والتخيل. والمنطقة المغزلية للوجوه فى الأشخاص العاديين (محددة بالتصوير

الوظيفى للدماغ؛ القسم ٨-٥) فى اللفيفة المغزلية اليمنى أكبر بكثير من مثيلتها فى اليسرى.

صارت الاختلافات بين النصفين الأيسر والأيمن موضوعا للفلكلور والكارتون. أحدثت هذه النتائج صناعة محلية لكتب المساعدة الذاتية التى تدعى أن تدريب نصف أو آخر من المخ قد يزيد من مهارات الإبداع والتفكير ويصب فى الأجزاء غير المستخدمة من الدماغ، ويتأسس كل ذلك على أدلة واهية.

١٧ ـ ٣ عقلان واعيان فى جسم واحد

لفهم ما يلى تذكرْ أن المعلومات الحسية من المجال البصرى الأيسر أو الجانب الأيسر من الجسم تُمثَّل فى النصف الأيمن من المخ، والعكس بالعكس. يستطيع تماما مريض انشطار الدماغ عادة أن يسمى السكين سكينا إذا وضعت، خارج مجال الإبصار (أو إذا أغلقت العينان)، فى يده اليمنى- حيث تمتد مستقبلات اللمس فيها إلى اللحاء الحسى الجسدى الأيسر، على الجانب الذى توجد فيه مراكز الكلام. عند القبض على السكين فى يده اليسرى ـ حيث تُرسَل معلومات اللمس إلى النصف الأيمن الصامت من المخ ـ لا يعرف ما هى. إذا قُدِّم له الآن جدولٌ مصور، يمكنه الإشارة إلى صورة السكين بيده اليسرى لا بيده اليمنى. إذا سُئِل عن سبب اختيار تلك الصورة الخاصة، لا يعرف لأن النصف الأيسر المتكلم من مخه ليست لديه معلومات عما تقبض عليه يده اليسرى (فى هذا الاختبار ينبغى ألا يتطلع المريض إلى السكين). بدلا من البقاء صامتا، مع ذلك، كثيرا ما يفبرك المريض ويبتكر تفسيرا لتغطية حقيقة أنه ليست لديه فكرة عما جعل يده اليسرى فعلت ما فعلت.

نصف من الدماغ لا يعرف بكل معنى الكلمة ما يفعله النصف الآخر، مما قد يؤدى إلى أوضاع ما بين التراجيدى والهزلى. صور فيكتور مارك Mark، طبيب أعصاب فى جامعة داكوتا الشمالية،[١٠] بالفيديو لقاء مع مريضة بانشطار كامل فى الدماغ. حين سُئلتْ عن عدد النوبات التى تعرضت لها مؤخرًا، رفعت إصبعين من أصابع يدها اليمنى. وبعد ذلك امتدت يدها اليسرى وأرغمت إصبعى يدها اليمنى على النزول. بعد محاولات عديدة لعد نوباتها، توقفتْ وعرضت فى الوقت

ذاته ٣ أصابع بيدها اليمنى وإصبعا بيدها اليسرى. حين أشار مارك إلى هذا التباين، علقت المريضة بأن يدها اليسرى كثيرا ما تفعل أشياء من نفسها. نشبت معركة بين اليدين بدت نوعًا من الروتين الهزلي. فقط حين أصاب المريضة إحباط شديد وانفجرت فى نوبة بكاء تذكرت وضعها المحزن.(١١)

تشمل النوادر الإكلينيكية الأخرى مرضى يفكون أزرار قمصانهم أو بلوزاتهن بيد ويمسكونها بالأخرى. تختفى عادة هذه الأمثلة عن التنافس بين نصفى المخ بعد العملية ببضعة أسابيع.

فى مهمة للبحث البصرى (كما فى الشكل ٩-٢)، يبدو أن مرضى انشطار الدماغ يظهرون كشافين مستقلين للانتباه لفحص نظام، واحدًا للمجال الأيسر للرؤية والآخر للمجال الأيمن.(١٢) مع سلامة الجسم الجاسئ، يقلل التنافس بين نصفى المخ المعدل الفعال للبحث، متجليا فى الاهتمام ببؤرة فضائية واحدة.

تعجز أية روابط تبقى بعد القطع الكامل للجسم الجاسئ ونقطة الالتقاء الأمامى عن ترحيل المعلومات الحسية أو الرمزية، مثل "قضيب عمودى فى المجال البصرى الأيسر العلوى." ويمكنها توصيل حالات انفعالية أكثر انتشارا، مثل الغضب أو السعادة أو الارتباك. على سبيل المثال، إذا عرضت على أحد نصفى المخ صورة جنسية تجعل المريض يخجل، يعى الجانب الآخر الانفعال ولا يعرف السبب.

القدرات الذهنية للنصف الأيسر من المخ قريبة من قدرات عموم الناس. أو، بتعبير مختلف، ذهن الدماغ العادى كله لا يختلف كثيرا عن ذهن أحد نصفيه (النصف السائد). ويفسر هذا النقص البادى للعيوب فى معظم مرضى انشطار الدماغ، خاصة حين يُسْأَلون عما يشعرون به (لأن النصف الأيسر من المخ هو الذى يتكلم).

لكن القدرات المعرفية والحركية للجانبين، مع إنها ليست متماثلة، لها الخصائص العامة ذاتها. يمكن للنصف الأيمن أن يصل إلى الذاكرة الصريحة والمعالجة الرمزية، وهى تتجاوز قدرات الأجهزة الزومبية. من المؤكد أنه ينجح فى اختبار تأخير الوعى، وقد قدمناه فى القسم ١٣-٦.(١٣)

لأن كلا من النصف المتكلم والنصف الأخرس يقوم بسلوكيات معقدة ومخططة، يكون للنصفين مدركات واعية، حتى إذا لم تتماثل طبيعة المشاعر ومحتواها. للعقلين خبرات مستقلة لكنها مشتركة فى جسم واحد، كما يؤكد سبيرى:

> رغم معارضة بعض المؤلفات تصديق أن النصف الصغير غير المتصل من المخ يعى، فإن تفسيرنا الخاص المعتمد على عدد كبير ومتنوع من الاختبارات غير اللفظية، بأن النصف الصغير جهاز واع حقا فى ذاته، يدرك ويفكر ويتذكر ويعقل ويرغب وينفعل، كل ذلك فى مستوى إنسانى متميز، وأن النصف الأيسر والنصف الأيمن قد يعيان فى الوقت ذاته خبرات ذهنية مختلفة وحتى متصارعة بصورة متبادلة، تحدث التوازى.[١٤]

تأكد هذا الاستقلال فى سياق تنافس العينين (كما عالجناه فى الفصل السابق). يظهر نصفا المخ كلاهما نمط السيادة والقمع المتوقع من دماغين مستقلين (إلى حد ما). [١٥]

كيف يبدو النصف الأخرس من المخ، الموجود بشكل دائم فى جمجمة واحدة فى صحبة شقيق سائد يقوم بالحديث كله؟ إذا وضعنا فى الاعتبار عجز النصف الأيمن عن الكلام، هل يكون أقل وعيا من توءمه؟ هل محتوى وعيه أكثر ارتباطًا بمحتوى وعى القردة العليا والقرود، التى لا تستطيع الكلام؟ تأمل عواصف صامتة تعصف عبر بقية ارتباطات نصفى الدماغ، متحكمة فى هذا الجزء أو ذاك من الجسم بنصف أو بآخر من نصفى المخ.[١٦] هل تسمح تكنولوجيا المستقبل بوصول مباشر للنصف الأيمن من المخ وعقله الواعى؟

فى مرضى انشطار الدماغ، ينبغى أن توجد الارتباطات العصبية للوعى، على الأقل بشكل شبه مستقل، فى نصفى اللحاء، الأيسر والأيمن (دون إنكار أن بعض أنواع المدركات قد تكون خاصة بنصف أو بآخر). كيف يتحقق التكامل، إذن، فى الدماغ السليم؟ ينبغى أن توظف الارتباطات العصبية للوعى ألياف الجسم

الجاسئ لتأسيس ائتلاف واحد سائد فى مقدم الدماغ، كاف لإحساس شعورى واحد، لا اثنين.

لكن هل يتحقق التكامل حقا دائما؟ هل يمكن لأصداء نصفى المخ وكل منهما يتجادل مع الآخر أن توجد فى الحياة اليومية؟ اقرأ مرة أخرى تصدير الفصل من التعليق الفظيع لسقوط سيمبسون فى صدع، على حافة الموت، ثم زحفه على نهر الجليد بساق مكسورة. ربما تأتى أصوات مثل "صوت" النصف الأيسر من مخه، تلح عليه للنزول من على الجبل، واللحاء الأيمن لا يستخدم إلا لتشتيته بصور موحية. أثناء تدريب، هل جربت ذات مرة صراعا غير منطوق يتقد فى رأسك بين ذات "أفضل" تلح على الجرى ميلا آخر أو إضافة مزيد من الأوزان إلى القضيب و"ضعفك الداخلى" الذى يبتكر سببا وراء سبب للاكتفاء؟ هل هذه تأملات نصفى المخ؟ هل لها صفات مميزة، تميز النصف اللغوى أكثر والنصف البصرى أكثر؟ هل مرضى انشطار الدماغ، أو الذين لا يعيشون إلا بنصف لحائى واحد، خالون من مثل هذه التيارات المتصارعة للوعى؟

١٧ ـ ٤ الملخص

على مستوى الرؤية بالعين المجردة، الدماغ ـ مثل الجسم ـ بنية على درجة لافتة من التناسق على الجانبين. للعقل، مع ذلك، تيار واحد من الوعى، لا اثنان. فى ظل الظروف العادية، تكمل مائتا مليون محور فى الجسم الجاسئ، بمساعدة نقطة الالتقاء الأمامى وحزم الألياف الثانوية الأخرى، النشاط العصبى فى نصفى مقدم الدماغ، بحيث لا يتكون إلا ائتلاف واحد سائد، يكفى لمُدرَك.

فى مرضى انشطار الدماغ، قطعت هذه المسارات لمنع نوبات الصرع من الانتشار من نصف المخ إلى النصف الآخر. بشكل لافت، يتصرف هؤلاء المرضى ويتحدثون ويشعرون بشكل لا يختلف عما سبق. لا يشتكون من فقدان نصف مجال إبصارهم أو من العيوب الدرامية الأخرى. وبفحص أدق يمكن ملاحظة المتلازمة المستمرة العميقة لعدم الارتباط. إذا قدمت معلومات معينة لنصف من الاثنين أو للآخر، لا يشارك توءمه فى هذه المعلومات.

تبرهن هذه الخبرة الإكلينيكية، مصورة بدراسات التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى فى المتطوعين، على أن مناطق فى اللحاء الأيسر، فى معظم الناس، متخصصة فى معالجة اللغة (بما فى ذلك القراءة والكتابة). النصف الأيمن من المخ، فى ذاته، أخرس لكنه يمكن أن يتواصل بالإشارة أو إيماءة الرأس، أو الغناء. كأنه شكل من التعويض، يتخصص النصف الأيمن من اللحاء فى أوجه الانتباه والإدراك البصريين، مثل التعرف على الوجوه.

يبدو أن مرضى انشطار الدماغ يؤون عقلين واعيين فى نصفى أدمغتهم. فى هؤلاء المرضى، ينبغى وجود الارتباطات العصبية للوعى، بشكل مستقل، فى كل جانب. فى الدماغ السليم يتنافس النشاط فى نصفى المخ ويبقى ائتلاف واحد فقط على قيد الحياة، كافيا لمدرك واع واحد.

هل يمكن لأعضاء هذا الائتلاف السائد الذى يسهل الوعى أن يُجنِّدوا خلال مقدم الدماغ، موضع الوظائف الذهنية السامية، أم أن بعض هذه المناطق تُستبعَد من الوعى والمشاعر الذاتية؟ هذا موضوع الفصل التالى، وهو مرة أخرى فصل تأملى.

الهوامش:

(١) جوى سيمبسون Simpson (١٩٦٠ ـ) : كاتب إنجليزى ومتسلق جبال، نشر "لمس الفراغ Touching the Void" سنة ١٩٨٨ (المترجم)

(٢) انظر المقال رقم ٣٢ فى Decartes Les Passions de L'Ame ، المنشور فى ١٦٤٩. دعمت تفسيرَ ديكارت الملاحظةُ الخطأُ بأن الناس لا يبقون على قيد الحياة دون غدة صنوبرية. البنية الأساسية الأخرى غير المزدوجة هى الغدة النخامية.

(٣) تنشأ المحاور فى الجسم الجاسئ، ومعظمها مغطى بالميلين، ضمن الخلايا الهرمية فى الطبقة الثانية والطبقة الثالثة وتمتد فى الطبقة الرابعة فى منطقتها المستهدفة فى النصف المقابل من المخ.(Aboitiz et al., 1992) المساران اللحائيان الآخران بين نصفى المخ هما نقطة الالتقاء الأمامى ونقطة التقاء قرن آمون. أسفل يوجد نقطة الالتقاء السقفى بين الحدبتين، ونقطة الالتقاء الخلفى التى تربط الدماغ الأوسط، والارتباطات الأخرى فى مستوى جذع الدماغ.

(٤) روجر سبيرى Sperry (١٩١٣ ـ ١٩٩٤): عالم أعصاب (المترجم).

(٥) القطع الكامل أساسى لظهور كل عيوب انشطار الدماغ. يتطلب الأمر خاصة قطع نقطة الالتقاء الأمامى، لاحتوائها على ألياف تربط المناطق اللحائية الصدغية والجبهية التى تتوسط معلومات بصرية معينة. للاطلاع على تفاصيل أخرى، انظر Sperry, 1961.

(٦) جوى بوجن Bogen (١٩٢٦ ـ ٢٠٠٥): عالم فى فسيولوجيا الأعصاب، عرف بأبحاثه عن انشطار الدماغ. مايكل جازانيجا Gazzaniga (١٩٣٩ ـ) أستاذ علم النفس فى جامعة كاليفورنيا. نيو همبشاير New Hampshire ولاية شمال شرق الولايات المتحدة (المترجم).

(٧) Bogen, Fisher and Vogel, 1965؛ Bogen and Gazzaniga, 1965. لنظرة مهمة على طب أعصاب مرضى انشطار الدماغ، انظر Bogen, 1993. وارجع إلى Akelaitis, 1941، ١٩٤٤؛ Bogen, 1997b، للاطلاع على تاريخ هذه العملية.

(٨) يعلق Bogen and Gordon, 1970؛ Gordon and Bogen, 1974 على غناء مرضى الدماغ المنشطر. يقدم Gazzaniga, 1995 مسحًا رائعًا لمبادئ تنظيم دماغ الإنسان منبثقة من دراسات الدماغ المنشطر. يناقش Geschwind and Galaburda, 1987 الآليات البيولوجية لميل المخ فى الحيوانات والناس.

(٩) فى كل أصحاب اليد اليمنى تقريبا، النصف السائد المتحدث هو النصف الأيسر. والأمور أكثر تعقيدا إلى حد ما فى أصحاب اليد اليسرى. تمتد الصورة من سيادة كاملة للنصف الأيسر إلى سيادة كاملة للنصف الأيمن، مع أقلية لا تظهر ميلا لأى جانب إطلاقًا.

(١٠) داكوتا الشمالية North Dakota: ولاية أمريكية على الحدود مع كندا (المترجم).

(١١) فى هذه المريضة غير العادية، كان لنصفى المخ القدرة على الكلام. وأدى ذلك إلى التجاذب بينهما، مثلما حين ردد مارك إحدى عباراتها بأنها ليس لديها إحساس فى يدها اليسرى. أصرت حينها على أن يدها ليست مخدرة، وتلا ذلك وابل من التناوب بين نعم ولا، منتهية بشكل يائس بقول "لا أعرف" للاطلاع على التفاصيل، راجع Mark, 1996.

(١٢) يوضح زمن رد الفعل فى أربعة مرضى بانشطار الدماغ أن معدلات بحثهم عن هدف مخبأ وسط مشتتات منتشرة عبر مجال الرؤية بالكامل كانت تقريبا من حيث السرعة ضعف معدلات البحث والهدف والمشتتات فى نصف واحد فقط من المجال. لم يوجد هذا الاختلاف البارز فى مجموعة ضابطة من الأصحاء (Luck et al., 1989, 1994).

(١٣) على سبيل المثال، إذا كانت اليد اليسرى لمريض بانشطار الدماغ معصوب العينين يمكن أن تلمس شيئا على شكل نجمة، فإن اليد اليسرى - لا اليمنى - يمكنها بعد ذلك استعادتها من حقيبة مليئة بأشياء أخرى (Bogen, 1997c).

(١٤) انظر Sperry, 1974. تعود فكرة أن تنظيم الدماغ المكون من نصفين ينبغى أن ينعكس فى ازدواجية العقل إلى منتصف القرن التاسع عشر على الأقل (Wigan, 1844).

(١٥) يعلق O'Shea and Corballis, 2001 على تنافس العينين فى مشاهدين بانشطار الدماغ. تعارض بياناتهما الفرضية المثيرة، وغير المرجحة، بأن نصفى المخ يتنافسان أحدهما ضد الآخر فى تنافس العينين، مع تفضيل النصف الأيسر لمُدْرَك والنصف الأيمن للآخر (Miller et al., 2000 ;Pettigrew and Miller, 1998).

(١٦) يتميز مرض Marchiafava-Bignami، وهو من المضاعفات النادرة لتعاطى الكحول بشكل مزمن، بتآكل الجسم الجاسئ ونقطة الالتقاء الأمامى وضمورهما (Kokler et al., 2000). كتب الفيلسوف Puccetti, 1973 محاكمة مختلقة عن مريض من هذا النوع، قتل النصف الأيمن من مخه زوجته بطريقة مثيرة تمامًا. وجد المحلفون أن الزوج - بدقة أكثر، النصف السائد لغويا من مخه - ليس مذنبًا. بقدر ما أعرف، ليس هناك من أخذ على عاتقه كتابة قصة عن الحياة الذهنية لمرضى انشطار الدماغ من منظور نصف أو آخر من نصفى المخ (لكن انظر .(Schiffer, 2000).

(١٧) Bogen, 1986.

الفصل الثامن عشر

تأملات أخرى فى الأفكار والقزم غير الواعى

لا أعرف إذا كان ذلك قد حدث لك عموما، لكنه شىء لاحظتُه بنفسى وهو أننى
حين تواجهنى مشكلة تبدو للحظة مبتورة ومربكة، ويقدم غالبا نومٌ جيدٌ
الحلَّ فى الصباح. يدعى ذوو الشأن الذين يدرسون هذه الأمور، على ما أعتقد،
أن هذا له علاقة بالعقل دون الوعى، ومن المحتمل حقا أن يكونوا على حق.
لم أقل ارتجالا إن لى عقلا دون الوعى، لكننى
أفترض لا بد أن يكون لى دون أن أعرفه، ولا شك أنه هناك،
يعرق بكدٍّ فى الموقع القديم، طوال الوقت الذى كان يحصل فيه
الوستر Wooster المجسد على ساعاته الثمانى.

ب. ج. وودهاوس[١] من "Right Ho, Jeeves"

ألا تعى أفكارك وخططك ونواياك الداخلية؟ قد يجيب معظم الناس بنعم دون تفكير. ينسب معظم الناس الوعى لقمة هرم المعالجة، ويبدأ بالعينين والأذنين والأنف والحواس الأخرى وينتهى "بالوعى" نقطة نهاية كل الإدراك والذاكرة. هنا، فى قمة تدرج معالجة المعلومات، الحكم النهائى لأية وظيفة تنفيذية وتحكم عضلى.

أعتقد أن هذا الرأى خطأ، إنه الكميرا المدلل.[٢] فى هذا الفصل، قرب نهاية الكتاب، أسمح لنفسى، مرة أخرى، بترف التأمل فى رأى شغفنا به أنا

وفرنسيس، يتمثل فى أن المعمار المعرفى الذى تقطنه الارتباطات العصبية للوعى بين تمثيل العالم الخارجى للأشياء الفيزيائية والأحداث والعالم الداخلى الخفى، عالم الأفكار والتصورات. ولهذا الرأى بعض النتائج المدهشة.

١٨ ـ ١ نظرية المستوى الوسيط للوعى

الكوليا عناصر تشكِّل خبرة الوعى. الكوليا ما أعى: مشهد أرضية الوادى تحتى، وأشعة الشمس على ظهرى، وتوتر يدى وأنا أقبض على صخرة، وتجاور الخوف والانتعاش المميزين لتسلق حوائط مكشوفة فى داخلى. كلها مشاعر ذاتية. رأيتُ فى القسم ١٤ ـ ١ أن وظيفتها تلخيص الوضع الحالى لأمور العالم وتوصيل هذا الملخص التنفيذى إلى مراحل التخطيط.

لا شىء مما سبق ذكره يتضمن أن للوعى مدخلا إلى هذا الحرَم الداخلى، إلى مناطق الاهتمام بمختلف مسارات الفعل، حيث تتخذ القرارات وتقيم الأهداف طويلة المدى وتُحدَّث.

يتأسس الموقف طويل المدى فى علم النفس على فكرة تبدو متناقضة: إنك لا تعى تفكيرك مباشرةً. أعنى "بالتفكير" كل أنواع التعامل مع البيانات والأنماط الحسية أو الأكثر رمزية. ومن أمثلة ذلك التحول المطلوب لتعرف إن كانت فردتا قفاز متماثلتين أم أنهما زوج من فردة يمنى وفردة يسرى. الادعاء إذن هو أنك تعى فقط تمثيل الأفكار بمصطلحات حسية. وتبقى الأفكار نفسها، وهى هنا العمليات التى تحاول مطابقة فردة قفاز مع الأخرى، خارج حدود الوعى. يتمثل تيار الوعى، التيار العظيم المتصل، فى أن حياتك الذهنية ليست إلا انعكاسًا لأفكارك، لا الأفكار نفسها.

أفسر هذا بالإشارة إلى كتاب العالم المعرفى رى جاكندوف(٣) من جامعة برنديس Brandeis خارج بوسطن. فى ذلك الكتاب الصادر فى ١٩٨٧ **"الوعى والعقل الحسابى"** يعرِّف جاكندوف **نظرية المستوى الوسيط للوعى**. تتأسس مناقشاته على معرفة عميقة باللسانيات والموسيقى، لكنه يقدم أيضًا اقتراحات عن الإدراك البصرى.

يتأسس تحليل جاكندوف على تقسيم ثلاثى للعقل والجسد إلى الدماغ الفيزيائى، والعقل الحسابى، والعقل الظاهرى. يتضمن الدماغ المقاطعة المألوفة من المشابك والخلايا العصبية وأنشطتها. يأخذ العقل الحسابى المُدْخل الحسى، ويقوم بسلسلة عمليات، يغير الحالة الداخلية للكائن، ويولد نتاجًا حركيا. يعمل، مبدئيا، بشكل لا يختلف عن إنسان آلى مزود بقدرات أجهزة مماثلة، أجهزة إحساس للمدخل والنتاج. العقل الظاهرى هو العقل الذى يشعر، الذى يجرب الكوليا. يعترف جاكندوف بأنه لا يعرف طريقة انبثاق هذه الخبرات من الحساب، مرددًا أصداء المشكلة الصعبة عند تشالمرز (القسم ١٤ ـ ٤). لا يهتم جاكندوف بالارتباطات العصبية للوعى، لكن بأنواع الحسابات التى ترتبط بها الكوليا.

يوحى الحس العام بعدم إمكانية فصل الوعى والتفكير وبأن الاستبطان يكشف محتويات العقل. يبرهن جاكندوف بإسهاب على أن هذه المعتقدات ليست صحيحة. التفكير، معالجة المفاهيم أو البيانات الحسية أو الأنماط الأكثر تجريدًا، ليست شعورية عموما. الشعورى فى الأفكار هى الصور والنغمات والكلام الصامت، وبدرجة أقل المشاعر الجسدية الأخرى المرتبطة بالمستوى الوسيط للتمثيل الحسى.(٥) لا يمكن للوعى معرفة عملية التفكير أو محتواه. لا تعى عالمك الداخلى مباشرة، رغم الوهم المستمر بأنك تعيه!

ربما يوضح مثال الأمر أكثر. يمكن لشخص ثنائى اللغة التعبير عن فكرة بإحدى اللغتين، لكن يبقى التفكير وراء الكلمات مختفيا. لا يتجلى للوعى إلا بلغة مجازية موحية أو بحديث غير منطوق، أو بتجسيده. ومن هنا العبارة المسرحية: "كيف أعرف ما أفكر فيه قبل أن أسمع ما أقول؟"

هذه الفكرة، وتعود على الأقل إلى الفيلسوف إيمانويل كانط، مغرية لنا تماما، رغم أنها لم تشد انتباه علماء آخرين فى الدماغ. افترض فرويد شيئًا مماثلا، يتأسس على دراساته الشاملة للمرضى المضطربين. تأمل هذا الاقتباس:

> فى التحليل النفسى لا اختيار أمامنا سوى تأكيد أن العمليات الذهنية فى ذاتها لاشعورية، وتشبيه إدراكها بالوعى بإدراك العالم الخارجى بالأعضاء الحسية.(٦)

قدم كارل لاشلى[٧] فكرة مرتبطة بالموضوع، وهو عالم أمريكى بارز فى الأعصاب من منتصف القرن الماضى:

> **لا يوجد نشاط واع من أنشطة العقل** (التأكيد للاشلى). يبدو مفارقة، لكنها حقيقية. هناك نظام وترتيب، لكن لا توجد خبرة بخلق هذا النظام. يمكن أن أقدم أمثلة لا حصر لها، لأنه لا يوجد استثناء للقاعدة. يكفى التوضيح بمثالين. انظر إلى مشهد معقد. يتكون من عدة أشياء تتضح فى خلفية غير متميزة: طاولة، مقاعد، وجوه. يتكون كل منها من أحاسيس أقل تتحد فى الشىء، لكن لا خبرة بوضعها معًا. توجد الأشياء فورًا. حين نفكر بالكلمات، تأتى الأفكار فى شكل نحوى بفعل وفاعل ومفعول به، وعبارات معدلة تسقط فى موضعها دون إدراك من جانبنا لكيفية إنتاج بنية الجملة... لا تقدم الخبرة إشارة لطريقة تنظيمها.[٧]

توصل المؤلفان إلى الاستنتاج نفسه عموما من منظورين مختلفين وتقاليد بحثية مختلفة تماما.

أنت لا تعى، إذن، إلا تمثيل الأشياء الخارجية (بما فى ذلك جسمك) أو الأحداث الداخلية بالوكالة. لا تعى مباشرة شيئا فى العالم، وليكن مقعدا، لا تعى إلا تمثيله البصرى واللمسى فى اللحاء. المقعد فى الخارج؛ لا تنبثق معرفتك المباشرة به إلا من تمثيل صريح، لكنه وسيط، لحواسك فى دماغك، التى تتجاهل الكثير من التفاصيل الدقيقة، مثل أنماط تلوين السطوع المتغير، انتشار الطول الحقيقى لموجة الضوء الساقط، والدقائق الأخرى التى تشتبه فيها خلايا الشبكية. لا يختلف الوضع مع ما تتذكره أو تتخيله. عمومًا، يُرسَم هذا فى تمثيل بصرى وسمعى وشمى وذوقى واتزانى ولمسى ووضعى. تعتبر مجموعة فرعية منها، الارتباطات العصبية للوعى، كوليا. وتشمل ائتلافا سائدا، أو أكثر (القسم ١٨-٣)، يمتد بين المناطق اللحائية فى الخلف وفى مناطق جبهية أكثر.

١٨ ـ ٢ القزم غير الواعى

تفسر نظرية المستوى الوسيط للوعى إحساسا مستمرا ومشتركًا على نطاق واسع: إن هناك شخصا صغيرا، قزما، داخل رأسى يدرك العالم خلال الحواس، يفكر ويخطط وينفذ الأفعال الإرادية. كثيرًا ما سُخِر منه فى العلم والفلسفة، لكن فكرة قزم مغرية بعمق لأنها تتواءم مع "أنا".

هذا المعنى الغامر بحقيقة الأشياء قد يعكس التشريح العصبى لمقدم الدماغ. أعتقد أنا وفرنسيس[١٠] أن فى موضع ما فى تخوم الفص الجبهى شبكات عصبية تعمل عموما مثل قزم. هذا القزم غير الواعى الذى يستقبل معلومات حسية هائلة من مؤخر اللحاء (الشم استثناء لهذه القاعدة)، ويتخذ القرارات، ويغذى بها المراحل الحركية المناسبة. بتعبير فج، القزم "يبدو فى" مؤخر اللحاء؛ من ناحية التشريح العصبى يعنى هذا أنه يستقبل امتدادًا قويا دافعا من هناك فى طبقة مدخله (القسم ٧-٤) وتبدو الروابط فى الاتجاه العكسى مختلفة تمامًا.

يستشهد عالم النفس فريد أتنيف Attneave بنوعين من الاعتراضات على القزم.[١١] الأول نفور من الازدواجية؛ لأنه ربما يتضمن "نوعًا واهيا من شىء غير مادى... بعيدا تماما عن حدود الفحص العلمى." هذا الانتقاد لا ينطبق هنا حيث إن القزم يناظر عمل جهاز فيزيائى حقيقى، موضوع فى الفص الجبهى والبنى قوية الارتباط به، مثل العقد القاعدية. التحدى الثانى يتعلق بالطبيعة النكوصية المفترضة للمفهوم. من ينظر فى حالات دماغ القزم؟ ألا يتطلب هذا قزما آخر داخل القزم الأول، يتحكم فى أفعاله ويخطط لها؟ مثل مجموعة لا نهائية من دمى روسية تصغر باستمرار، يخزن واحد داخل الآخر، مما يؤدى إلى نكوص لا نهائى؛ مع كل قزم يتحكم فيه قزم آخر، حتى لو كان أصغر. فى حالتنا لا يوجد نكوص لانهائى لأن القزم لا يُقصَد منه تفسير الكوليا (القسم ١٤-٦). قزمنا يعمل بشكل أكثر شبها بوحدة حسابية.

مفهوم القزم غير الواعى ليس تافهًا. كما ناقشنا فى القسم السابق، إنه مسئول عن الكثير من العمليات المعقدة، مثل التفكير، وتشكيل المفاهيم، والنوايا، إلخ. أُغرَى بوصف كل هذه العمليات بأنها فوق ذهنية supramental، واضعًا فى الاعتبار موقعها فى تدرج معالجات العقل. تتجاوز المعالجة فوق

الذهنية الإدراك الواعى؛ وتقف فى مقابل المجال تحت الذهنى submental المهتم بمراحل المعالجة الأكثر بدائية التى تفر بالمثل من الوصول إليها بوعى.

تلقى فرضية القزم غير الواعى ضوءًا جديدا على مسائل أخرى مفتوحة، مثل الإبداع وحل المشاكل والبصيرة. أُكِّد منذ زمن طويل أن الكثير من الإبداع ليس واعيا. سأل عالم الرياضيات الفرنسى جاك هدامار[١٢] علماء مشهورين ورفاقًا من علماء الرياضيات عن أصل أفكارهم الإبداعية. ذكروا أن فترة طويلة من الانهماك الشديد مع المشكلة، نوعا من الحضانة، تلاها نوم مريح ذات ليلة أو بعض اللهو أثناء النهار، تسبق البصيرة الحاسمة التى "انبثقت فى رؤوسهم". أكدت دراسات أحدث لحل المشاكل استحالة الوصول المعرفى للبصائر.[١٣]

١٨ ـ ٣ طبيعة الكوليا

فى القسم ١٤-٦ رأيتَ أن الكوليا رموز، خاصية مميزة لشبكات التغذية الرجعية المتوازية جدا التى تمثل قدرًا هائلا من معلومات صريحة وضمنية. تعبر الارتباطات العصبية للوعى فى عقد أساسية متنوعة عن المعلومات الصريحة، وتنتشر المعلومات الضمنية عبر مجموعة كبيرة من الخلايا العصبية التى تشكل إطار هذه الارتباطات.

بالضبط كما توجد أنواع مختلفة من الرموز الاصطناعية ـ الحروف، الأرقام، الحروف الهيروغليفية، إشارات المرور ـ توجد رموز عصبية مميزة بالماركة كوليا. فى حالة الكوليا، لا تختلف فى محتواها فقط بل أيضا فى سياقها الزمنى، والشدة، وما إن كانت مكونة من عنصر أم مركبات.

يطلق ضوء أحمر ساطع كولى quale لون بسيط، ويؤدى النظر إلى كلب أو وجه إلى مُدْرَك أكثر غنى وتفصيلا. تظهر الثلاثة جميعا بسرعة وقد تختفى بالسرعة نفسها. على العكس، الكولى المرتبط بالإحساس بالديجا فو[١٤] أو الغضب يستغرق وقتا أطول بكثير ليظهر ويتلاشى وقد تكون ارتباطاته أقل.

فئة المشاعر الظاهرة المرتبطة بالتخيل والذاكرة تكون عادة أقل حيوية من المشاعر التى يولدها محفز خارجى، رغم الاختلاف البيِّن فى قدرة البشر على استدعاء الصور الذهنية.[١٥] تأمل الكلبة "هوسكى شيفرد مكس" السمراء

القابعة عند قدمى وأنا أكتب هذا. يمكن أن أرى أنفها بوضوح، وأذنيها المدببتين، وعينيها اللطيفتين تتعقبان كل حركاتى، وطبقة رائعة من الفراء. إذا أغلقتُ عينى أتذكرها، تكون صورة الكلبة مشوشة وملتبسة. الكوليا المرتبطة بها أضعف، وأقل شدة، وأقل شبها بالحياة، مع تفاصيل أقل.(١٦)

أؤمن بأن درجة الحيوية تتجلى فى المستوى العصبى مثل مدى تمثيل الائتلاف للارتباطات العصبية للوعى. كلما كانت العضوية العصبية فى الائتلاف الفائز أكثر انتشارا زادت التفاصيل والأوجه التى يُعبَّر عنها بوعى وكان المدرك أكثر حيوية.

كما أوضحتُ فى القسم ٥-٤، توضح تسجيلات الخلية العصبية المفردة فى المرضى والتصوير الوظيفى للدماغ فى المتطوعين أن الاستجابة فى المراحل العليا من تدرج معالجة الرؤية لإدراك الصور المتخيلة انتقائية وقوية مثل الاستجابة للصور المرئية.(١٧) من المحتمل أن تنشط الخلايا فى المراحل البدائية من اللحاء البصرى، فى اللحاء البصرى الأولي والمنطقتين البصريتين الثانية والثالثة، أثناء التخيل بشكل أقل قوة مما تنشط به أثناء تحفيز الشبكية. بتعبير آخر، كلما كان التدرج البصرى أدنى كانت المنطقة أقل مساهمة فى التخيل وقلت حيوية الصورة المدركة بعين العقل. تصل مسارات التغذية الرجعية من مقدم اللحاء إلى الخلف، فى أقصى نهاية الدماغ، وربما لا تتمتع بالانتقائية المكانية الضرورية للتأثير فى النشاط المتأجج هناك بشكل دقيق وكاف. النتيجة إحساس أقل إلحاحًا للرؤية بعين العقل. قد يكون هذا طيبا؛ لأنه لو كان غير ذلك فربما لا تميز بين الواقع والوهم.

لفئة من المشاعر الواعية خاصية مختلفة إلى حد ما عن المدركات الحسية المباشرة. تتضمن الأمثلة مشاعر الألفة، والجدة، واسم على طرف اللسان، واندفاع فجائى فى فهم جملة أو مناقشة، ومختلف الانفعالات. الإحساس برغبة واعية فى فعل، ما يسمى تأليفًا، يقع ضمن هذا التصنيف. يتوسط هذا المُدْرَك الإحساس بأنك عامل استهل بشكل إرادى فعلا حركيا، مثل رفع يد أو ضغط رافعة.(١٨) من غير الواضح إن كانت الكوليا المرتبطة بهذه الأحاسيس، الأكثر انتشار والأقل تفصيلا من المدركات الحسية، توجد فى ذاتها أم أنها أخلاط أو تعديلات لأحاسيس جسدية متنوعة.

يلخص الفصل السادس عشر الدليل الذى يفرض نفسه بأن الارتباطات العصبية للوعى بالمدركات البصرية تتضمن ائتلافات فى المناطق العليا من المسار البطنى. برهنْتُ فى الفصلين الرابع عشر والخامس عشر على أن التغذية الرجعية من الفصين الجبهيين قد تكون ضرورية لتماسك الفائز. يمتد مثل هذا الائتلاف من المناطق البصرية العليا إلى لحاء مقدم الفص الجبهى. هل الائتلاف الفائز الذى يُجنِّد أعضاؤه أساسا من الفصين الجبهيين له خاصية مختلفة جوهريا، تفسر الفئات المختلفة من الكوليا؟ هل يمكن أن يناظر التمييز بين الكوليا الواضحة والحسية السريعة، والكوليا المجردة المتوانية الأقل حيوية والأكثر انتشارًا اختلاف أنواع الائتلافات فى مؤخر الدماغ ومقدمه؟ لا يمكن إجابة هذه الأسئلة دون فهم أفضل بكثير لتشريح لحاء مقدم الفص الجبهى ولحاء المطوقة الأمامية ووظائفهما الفسيولوجية. لا نعرف حتى إن كان هذا القطاع من الدماغ منظم فى خطوط هرمية، كما فى اللحاء الحسى.

١٨ ـ ٤ الملخص

قدمت فى هذا الفصل نظرية المستوى الوسيط للوعى لجاكندوف، وتفترض أن العالم الداخلى للأفكار والمفاهيم مخبأ دائما عن الوعى، كما فى العالم الفيزيائى الخارجى، بما فى ذلك الجسد.

إحدى نتائج هذه الفرضية أن الكثير من أوجه المعرفة الرفيعة، مثل اتخاذ القرارات والتخطيط والإبداع، تتجاوز حدود الوعى. هذه العمليات يقوم بها القزم غير الواعى الذى يقطن مقدم الدماغ الأمامى، ويستقبل المعلومات من المناطق الحسية فى الخلف، ويرحل نتاجه إلى الجهاز الحركى.

ثمة نتيجة أخرى وهى أنك لا تعى أفكارك مباشرة. لا تعى إلا إعادة تمثيل خصائصها الحسية، وخصوصا التخيل البصرى والحديث الداخلى.

بتعبير مختلف، تستسلم كتلة النسيج العصبى لمعالجة تحت ذهنية تحول المدخل الحسى إلى نتاج حركى. يكفى جزء من الخلايا العصبية التى تصل التمثيل الصريح للعالم الخارجى لمدركات شعورية معينة. تحدث المعالجة فوق الذهنية- الأفكار والمعالجات الأخرى المعقدة للبيانات والأنماط الحسية أو

المجـردة- فى المراحل العليا، موطن القزم غير الـواعى. لا يمكن لـلوعى معـرفة محتواه مباشرة، الذى ينشـأ فى السطح البينـى بـين تمثيل العالم الخـارجى وتمثيل العالم الداخلى.

تؤدى المحفزات الواقعية الفيـزيائية إلى كوليا أكثر قوة وتعقيدا من المحفزات المتخيلة. وربما يعود هذا إلى أن روابط التغذية الرجعية اللحـائية اللحائية ـ من مقدم اللحاء إلى المناطق الحسيـة المناسبة، دون مسـاعدة مدخل حسى، تعجز عن تجنيد الائتلاف الكبير المطلوب للتعبيـر بشكل كامل عن الأوجه المتعددة لشىء أو حدث. يحتمل أن يكون للكوليا المرتبطة بالائتلاف الفائز فى مقدم الدماغ خاصية مختلفة عن تلك المرتبطة بمؤخره.

الصـورة التى تنبثق من هذا كله رائعة تمـامـا فـى تنـاسـقها. يمكن أن لا تـعرف العـالم الخـارجـى أبدًا. تعى فـقط نتـائج بـعض الحسـابـات التى يقـوم بـهـا جـهـازك العـصـبى فـى تمثيل أو أكثـر لـلعـالم. بـطـريقـة مماثـلة، لا تسـتـطيع معـرفة أعمق أفكارك. لا تـعى إلا التمثيل الحسـى المرتبط بهذه الأنشطة الذهنية. وإذا كان ذلك صحيحا، كانت له نتـائج عميقة فى المشروع القديم فى الفلسفة الغربية، المغلف فى مقولة "اعرف نفسك."

مـا يتبقى فى الإدراك الحقيقى أن العـالم الذاتى للكوليا- مـا يميزك ويميزنى عن الـزومبيات ويملأ حيـاتنـا بـاللون والموسيقى والـروائح والـذوق واللذة- يعـتمـد بشكل حاسم على الأنمـاط الشوكيـة الدقيقـة المتذبذبة لمجموعة خلايا عصبية، الموضوعة بشكل استراتيجى بين هذين العالمين الخارجى والداخلى.

الهوامش:

(١) ب. ج. وودهاوس P.G. Wodehouse (١٨٨١ ـ ١٩٧٥): كاتب إنجليزى (المترجم).

(٢) الكميرا chimera: كائن هجين يُخلَّق بالهندسة الوراثية. وكميرا فى الأساطير اليونانية مسخ يتكون عادة من أسد وعنزة وثعبان (المترجم).

(٣) رى جاكندوف Jackendoff (١٩٤٥ ـ): أستاذ أمريكى فى الفلسفة (المترجم). والكتاب المذكور هو "Consciousness and the Computational Mind".

(٤) Jackendoff, 1987, 1996.

(٥) بالطبع، هناك آراء معارضة من وضع Jackendoff, 1987 بأن كل الأفكار يتم التعبير عنها بمصطلحات حسية (Siewert, 1998 ; Strawson, 1996)؛ وكثير من المعلقين فى (Crick and Koch, 2000).

(٦) من مقاله عن "اللاشعور "The Unconsious (Freud, 1915)).

(٧) كارل لاشلى Lashley (١٨٩٠ ـ ١٩٥٨): عالم نفس، أمريكى (المترجم).

(٨) Lashley, 1956.

(٩) عبَّر Stevens, 1997 عن أفكار مماثلة بلغة مختلفة. للاطلاع على المنظور الفلسفى لكل هذا، انظر Metzinger, 1995.

(١٠) Crick and Koch, 2000, 2003.

(١١) انظر مقال Attneave, 1961 بعنوان "دفاعا عن الأقزام ."In Defense of Homunculi يضع القزم ببراعة فى منطقة تحت اللحاء، مثل التكوين الشبكى. يعتبره أتنيف واعيا. فكرته الأساسية شبيهة إلى حد ما بالفكرة التى نناقشها هنا.

(١٢) جاك هدامار Hadamard (١٨٦٥ ـ ١٩٦٣): رياضى فرنسى (المترجم).

(١٣) انظر Hadamard, 1945 وأيضا التعليق الشهير Poincaré, ١٩٥٢. دعم العلم المعرفى فرضية تضمين عمليات لا يمكن ذكرها (أى غير شعورية) (Schooler, Ohlsson and Schooler and Melcher, 1995 ; Brooks, 1993).

(١٤) الديجا فو déjà vu : إحساس وهمى بالمرور من قبل بتجربة تمر بها لأول مرة (المترجم).

(١٥) يناقش Sacks, 2003 هذا التنوع فى التخيل. يذكر أمه، جراحة ومتخصصة فى التشريح، تحدق متعمدة فى هيكل سحلية لدقيقة وترسم عدة لوحات، كل منها أديرت

ثلاثين درجة، دون النظر إلى الحيوان مرة أخرى. يقارن ساكس هذا الوضع بمحاولاته الشاحبة سريعة الزوال مع المخيلة.

(١٦) بعض فئات المدركات، وخاصة المرتبطة بالروائح، والألم، لحسن الحظ، من الصعب تخيلها أو تذكرها. وربما يكون ذلك نتيجة نقص امتدادات التغذية الرجعية اللحائية اللحائية إلى لحاء الشم ولحاء الجزيرة insular المسئولين عن هذه المدركات.

(١٧) توصف بيانات الخلية المفردة عن التخيل فى Kreiman, Koch and Fried, 2000b ودراسات التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى فى Kosslyn, Thompson and Alpert, 1997 ؛ O'Craven and Kanwisher, 2000 ؛ Kosslyn, Ganis and Thompson, 2001 للاطلاع على دراسة رائعة عن القرود تعتبر لحاء مقدم الفص الجبهى مصدرا لتذكر المعلومات، انظر Tomita et al., 1999.

(١٨) يقدم Wegner, 2002 أمثلة واقعية ومعملية لا يناظر فيها الإحساس بالتأليف السياق الفعلى للأحداث. فى بعض الحالات، تؤمن سيدة بأنها مسئولة عن فعل أطلقه، فى الواقع، شخص آخر: فى حالات أخرى حدث الموقف العكسى وأنكرت السيدة مسئوليتها عن فعل وكانت، دون شك، المتسببة فيه. يبدو أن جزءا من الدماغ مسئول عن توليد الإحساس، المدرك، بأنك العامل الذى استهل فعلا حركيا. هل الارتباطات العصبية للوعى بمدركات التأليف موجودة فى المناطق الحركية أو قبل الحركية من اللحاء؟

الفصل التاسع عشر

إطار للوعى

فقط من تمضى مخاطرتهم بعيدا جدا
ربما يكتشفون إلى أى مدى يمكن للمرء أن يمضى

ت. س. إليوت

تناولت الفصول السبعة عشرة السابقة الأسس البيولوجية والسيكولوجية للوعى بتفصيل كبير. هنا ألمُّ كل هذه الخيوط معًا وأقدمها بطريقة موحدة. كان الهدف النهائى لى أنا وفرنسيس رسم كل المفاهيم فى تخوم الوعى على خصائص المشابك، وجهود الفعل، والخلايا العصبية وائتلافاتها. كان على برنامجنا أن يركز على الارتباطات العصبية للوعى. كما شرحنا فى الفصل الخامس، اهتمامنا بعوامل التمكين الضرورية لحدوث حالة شعورية أقل من اهتمامنا بالكشف عن سلسلة الأحداث العصبية التى تؤدى إلى إحساس معين.

يتفق العلماء المهتمون بهذه الأمور، بصرف النظر عن نزعاتهم الفلسفية أو الدينية، على وجود ارتباطات مادية للوعى فى الدماغ وإمكانية تحليل خصائصها باستخدام منهج علمى. ويتفق كثير - وليس كل - من دارسى العقل على أن اكتشاف الارتباطات العصبية للوعى مفيد لأية نظرية نهائية عن الوعى.

رأى فرنسيس كريك، ماسحا حالة علوم الدماغ فى مقال فى ١٩٧٩ فى "Scientific American"، أن "ما ينقص بوضوح إطار شامل للأفكار نفسر فيه

كل هذه المقاربات المختلفة". فى سنوات ما بين الفترتين، شيدت أنا وهو مثل هذا الإطار للتفكير فى العقل الواعى.

قررنا أن نركز مقاربتنا فى تسع فرضيات عمل تعبر بوضوح عن فرضياتنا ونشرناها فى "Nature Neuroscience فى ٢٠٠٢[١]. يبدو من المناسب إنهاء هذا الكتاب بذكر قائمة بهذه المجموعة الشاملة من الأفكار المترابطة ومناقشتها. إطارنا ليس مجموعة مقترحات هشة التكوين، لكنه بالأحرى رأى موحٍ فى هجمة على أصعب مشكلة علمية. على عكس الفيزياء، فى البيولوجيا قليل من المبادئ والقوانين الصارمة. ينتج الانتقاء الطبيعى تدرجا هرميا للآليات، وهناك قواعد قليلة بلا استثناءات فى البيولوجيا. الإطار الجيد إطار مستساغ بشكل معقول - يتناسب مع البيانات العلمية المتاحة - ويتبين أن ذلك صحيح عمومًا. من غير المحتمل أن يكون صحيحًا فى كل التفاصيل.

١٩ - ١ عشر فرضيات عمل لفهم

مشكلة العقل والجسد

أولا، قليل من فرضياتى الفلسفية الأساسية.

الفرضيات الفلسفية الأساسية

حرصتُ على تجنب اتخاذ وضع إيديولوجى جامد فى طبيعة القرابة بين الأحداث الموضوعية للدماغ والأحداث الذاتية للوعى. أمام أكثر من ألفى سنة من النقاش المدرسى لا يُعرَف ما يكفى فى هذه المرحلة لوضع بيانات صارمة.

تتمثل مقاربتنا فى التركيز على الأوجه التى يمكن الوصول إليها أكثر بشكل إمبريقى لمشكلة العقل والجسد، أو الإدراك الواعى أو الوعى. وهذا يجعل تتبع المشكلة أسهل حيث يمكن الوصول تماما إلى الآليات العصبية المسئولة عن الإدراك فى الحيوانات. نتجاهل حاليا المساهمات التى تقدمها الانفعالات والأمزجة واللغة باتجاه وعى الإدراك.

نفترض أن أية حالة ظاهرية - رؤية كلب، الإحساس بألم، إلخ - تعتمد على حالة الدماغ. والارتباطات العصبية للوعى أصغر مجموعة من الأحداث العصبية

تكفى مشتركة لحالة ظاهرية شعورية معينة (واضعين فى الاعتبار شروط التمكين الأساسية المناسبة؛ انظر القسم ٥ ـ ١). تصاحب كل مُدْرَك بعض الارتباطات العصبية للوعى.

الكوليا، عناصر الوعى، فى قلب مشكلة العقل والجسد. نسعى أنا وفرنسيس لتفسير كيف تنشأ هذه الكوليا من عمل الجهاز العصبى، أو نتيجة له.

الفرضية ١: القزم غير الواعى

من الطرق التقليدية للتفكير فى السلوك العام للحاء المخ أن مقدم اللحاء يتطلع إلى الخلف، أعنى أن الامتدادات إلى الأمام لمسافة طويلة من الخلف روابط قوية (القسم ٧ ـ ٤)، تكفى لدفع أهدافها بعد المشبكية فى الطبقة الرابعة من المنطقة الجبهية المستقبلة. يتوافق هذا الرأى مع طريقة تفكير معظم الناس فى أنفسهم: مثل قزم، يجلس داخل الرأس، ويتطلع إلى العالم.

تتضمن الارتباطات العصبية للوعى ائتلافًا واحدًا من خلايا مقدم الدماغ (وربما ائتلافات قليلة؛ القسم ٢ ـ ١ والقسم ١١ ـ ٢). ربما لا يكون للارتباطات العصبية للوعى مدخل مباشر للمناطق المتورطة فى اتخاذ القرارات والتخطيط والأوجه الأخرى للمعرفة الرفيعة فى مقدم الدماغ. أى إن الوعى قد يكون محدودًا فى المستويات المتوسطة من الدماغ (القسم ١٨ ـ ١). بهذا المعنى، لا يعى عمومًا القزم الذى يضرب به المثل فى الفص الجبهى. لا يؤدى هذا التقسيم للعمل إلى نكوص لانهائى، لأن الكوليا لا يولِّدها القزم نفسه (القسم ١٨ ـ ٢).

لا يمكن أيضًا الوصول إلى الأفكار بوعى (الفصل ١٨). لا تُعرَف إلا انعكاساتها الحسية وإعادة تمثيلها فى الكلام الداخلى والمخيلة بشكل مباشر.

الفرضية ٢: العوامل الزومبية والوعى

الكثير من الأفعال الحركية، إن لم يكن معظمها، استجابةً للأحداث الخارجية أفعالٌ سريعةٌ ومؤقتة ونمطية وغير شعورية. وتتوسطها عوامل زومبية مدربة ومتخصصة جدا لا ترتبط، فى ذاتها، بالشعور الواعى. يمكن اعتبارها انعكاسات لحائية عامة (الفصل ١٢ والفصل ١٣).

يتعامل الوعى مع أوجه للعالم أشمل وأقل ألفة وأكثر مشقة أو انعكاسات هذه الأوجه فى المخيلة (الفصل ١٤). الوعى ضرورى للتخطيط والاختيار من بين مسارات متعددة للفعل. ولولا ذلك، يكون على جيش هائل من العوامل الزومبية التعامل مع كل الأحداث المحتملة التى نواجهها فى عالم الواقع. وظيفة الوعى تلخيص الحالة الحالية للعالم فى تمثيل مدمج وجعل هذا "الملخص التنفيذى" سهل المنال لمراحل التخطيط فى الدماغ (القسم ١٤ ـ ١)، ويشمل القزم غير الواعى. محتوى هذا الملخص هو محتوى الوعى.

ربما يتداخل الجهاز الواعى الأكثر بطأ مع العوامل الزومبية النشطة فى الوقت ذاته. بتكرار كافٍ يمكن فى النهاية تنفيذ سلوكيات حركية حسية معينة تتطلب وعيا فى البداية، مثل ضربة خلفية فى التنس، بيسر بعامل زومبى تلقائى (القسم ١٤ ـ ٢).

يحتمل أن تطلق الموجة الشبكية لجهود الفعل، زاحفة من الأطراف الحسية بأسلوب التغذية الأمامية عبر بنى أكثر مركزية وتستمر إلى العضلات، سلوكياتٍ زومبيةً لا تكفى للشعور الواعى (القسم ١٢-٣ والقسم ١٥ ـ ٣).

الفرضية ٣: ائتلافات الخلايا العصبية

مقدم الدماغ نسيج من الشبكات العصبية، مترابط جدا ومعقد بوحشية. يناظر أى مُدْرَك، واقعى أم متخيل، ائتلافًا من الخلايا العصبية. ويعزز الائتلافُ النشاطَ المتأجج لأعضائه من خلايا عصبية ربما بتزامن تفريغها الشوكى، ويقمع الائتلافات المنافسة. لن يكون من السهل فهم ديناميكيات الائتلافات، مع وضوح أن تنافسًا للفائز فيه كل شىء، يلعب دورا رئيسيا.

فى أية لحظة، يستمر إلى حد ما الائتلاف الفائز معبرًا عن المحتوى الحقيقى للوعى. يناظر ائتلافٌ قصير العمر جدا شكلا من الوعى سريع الزوال (القسم ٩-٣). صخب العملية الانتخابية فى مجتمع ديموقراطى استعارة مفيدة (القسم ٢-١).

تختلف الائتلافات فى الحجم والخصائص. تأمل، على سبيل المثال، الاختلاف بين رؤية مشهد وتخيله فيما بعد وعيناك مغلقتان. الائتلافات الكافية للتخيل-

مدرك أقل حيوية من ذلك الناتج عن الرؤية العادية ـ من المرجح أن تكون أقل انتشارًا من الائتلافات الناتجة عن مُدْخَل خارجي، وربما لا تصل إلى الطبقات السفلى من تدرج المعالجة اللحائية (القسم ١٨-٣).

إذا وضعنا فى الاعتبار خاصية الكل أو لا شىء فى الإدراك الشعورى (القسم ١٥ ـ ٢)، على النشاط العصبى الممثل لخاصية ما أن يتخطى عتبة (قد تختلف من صفة لأخرى). من غير المرجح القيام بذلك إلا إذا كان، أو أصبح، جزءا من ائتلاف ناجح. ويستمر النشاط العصبى الكافى للإدراك الواعى بهذه الصفة، الارتباطات العصبية للوعى، فوق العتبة برهة، ربما بمساعدة التغذية الرجعية من بنى جبهية، مثل المطوقة الأمامية ولحاء مقدم الفص الجبهى. ربما تكون بعض أوجه الارتباطات العصبية للوعى ثنائية؛ على سبيل المثال، ربما تأخذ قيمة من قيمتين مختلفتين لمعدل التأجج ـ وربما تظهر تباطؤا، أى إن النشاط ربما يبقى وقتا أطول من دعم كافليه. ربما تتجاوز أوجه مختلفة لوعى بمدرك العتبات فى أوقات مختلفة قليلا، مما يعكس حقيقة تحطم وحدة الوعى فى هذه الأوقات القصيرة.

الفرضية ٤: التمثيل الصريح والعقد الأساسية

التمثيل الصريح لصفة محفز لمجموعة خلايا عصبية "تكتشف" هذه الخاصية دون مزيد من المعالجة (القسم ٢-٢). إذا لم توجد هذه الخلايا العصبية أو إذا دُمِّرتْ، يعجز الشخص عن إدراك ذلك الوجه بوعى مباشرة. ثمة تمثيل صريح مسئول عن كل إدراك مباشر وواع ("مبدأ النشاط"؛ الشكل ٢-٥). التشفير الصريح خاصية للخلايا العصبية الفردية.

يمكن التفكير فى لحاء المخ، أو على الأقل مناطقه الحسية، باعتباره يتمتع بعقد. تعبر كل عقدة عن وجه لمدرك. لا يمكن لوجه أن يصبح واعيا إذا لم تكن هناك عقدة أساسية له (القسم ٢-٢). وهذا شرط ضرورى لكنه غير كافٍ للارتباطات العصبية للوعى. هناك شروط ضرورية أخرى، مثل الامتداد إلى مقدم الدماغ واستقبال تغذية رجعية مناسبة تتخطى عتبة ما لبعض الوقت (القسم ١٢-٣ والقسم ١٥-٣). إذا دُمِّرت العقدة الأساسية لوجه ما، مثل

اللـون، يـفـقـد الـكـائن ذلك الـوجه من أوجه الإدراك الـواعى، ولا يـفـقـد الأوجه الأخرى.

لا يمكن للعقدة، فى ذاتها، أن تنتج وعيا. حتى إذا كانت الخلايا العصبية فى تلك العقد تتأجج بشدة، فإن ذلك لا يؤثر إلا قليلا إذا كان نتاج مشابكها غير نشط. العقدة جزء من شبكة. يرتبط أى مدرك واع بائتلاف، يتكون من نشاط متعدد البؤر فى عقد أساسية كثيرة، تمثل كل منها صفة خاصة.

من المرجح أن تَكُون الركيزة العصبية لمفهومين توءمين للتشفير الصريح والعقد الأساسية تنظيما عموديا للمعلومات فى اللحاء (القسم ٢-٢). يمكن اعتبار العمود أصغر عقدة مفيدة. وتصبح الخاصية المشتركة لمجال استقبال معظم الخلايا فى عمود صريحة هناك. والعمود (عادة) جزء من عقدة أساسية لهذه الخاصية.

الفرضية ٥: المستويات العليا أولا

تتبع حركة عين تجلب جزءا جديدا من المشهد البصرى إلى الرؤية، النشاط العصبى، الموجة الشبكية، تتحرك بسرعة، بطريقة أمامية، فى التدرج البصرى بطول الطريق إلى لحاء مقدم الفص الجبهى وإلى البنى الحركية المناسبة. مثل هذا النشاط الأمامى هو الأساس، على الأقل، لبعض السلوكيات الزومبية غير الواعية (القسم ١٢ ـ ٣ والقسم ١٥ ـ ٣).

بعد الوصول إلى لحاء مقدم الفص الجبهى، تنتقل الإشارات للخلف نازلة فى التدرج، وهكذا تكون المراحل الأولى المساهمة فى محتوى الوعى هى المستويات العليا. ثم تُرحَّل الإشارات عائدة إلى مناطق مقدم الفص الجبهى، يليها نشاط مناظر فى مستويات أدنى بالتتابع. يتوسط التمثيل العصبى لجوهر مشهد فى مناطق عليا الإحساس الحى لإدراك مشهد كامل فى الحال، لرؤية كل شىء- وهم مفروض (القسم ٩ ـ ٣).

يعتمد مدى صعود الموجة الشبكية فى التدرج الهرمى على التوقع والانتباه الانتقائى.

المراحل العليا من المسار البطنى، مسار الرؤية للإدراك (الشكل ٧-٣)، فى اللحاء الصدغى السفلى وحوله وبناه بعد المشبكية، هى الأرضية الأكثر احتواء للخلايا العصبية المرتبطة بالوعى البصرى (القسم ١٦-٣). ومن غير المرجح وجود خلايا الارتباطات العصبية للوعى فى اللحاء البصرى الأولي (الفصل ٦) أو ما قبله. المسار الظهرى ليس أساسيا للإدراك الواعى بشكل شىء أو تكوينه أو لونه أو هويته.

الفرضية ٦ : الارتباطات الدافعة والمعدِّلة

التأمل فى ديناميكيات الائتلافات ضرورى لفهم طبيعة الروابط العصبية. ولا يزال الترتيب النظامى للمُدْخل العصبى (المشبكى) فى فئات مميزة بدائيا تماما.

بداية يمكن تقسيم الخلايا المثيرة إلى دافعة أو معدِّلة لبناها المستهدفة (القسم ٧-٤). الامتدادات الأمامية دافعة؛ لأنها يمكن أن تطلق تفريغ جهد فعل قوى، وتعمل التغذية الرجعية على تعديل استجابة الخلايا. من المرجح أن تكون غالبية الروابط من مؤخر اللحاء إلى مقدمه دافعة. وهذا ما يجعل الأمر يبدو وكأن مقدم الدماغ ينظر إلى الخلف. على العكس، الروابط العكسية، من مقدم الدماغ إلى الخلف، معدِّلة عموما. ينطبق هذا التقسيم إلى روابط دافعة ومعدلة على المهاد أيضًا (القسم ٧-٣). لا تحدث عادة الحلقات القوية للروابط الدافعة فى حدود الشبكات اللحائية ـ اللحائية أو اللحائية ـ المهادية.

الفرضية ٧ : اللقطات

ربما يناظر الوعى الإدراكى سلسلة لقطات استاتيكية، مع حركة "ترسم" عليها (القسم ١٥-٥). ويعنى هذا أن الإدراك قد يحدث فى فترات متميزة مختلفة المدة (٢٠-٢٠٠ ملى ثانية). وهذا يحمل تشابهًا مذهلا مع فيلم يخلق فيه وهم الحركة والحياة بالتنقل بسرعة خلال سلسلة من المشاهد الثابتة.

على عكس دورة الساعة فى الكمبيوترات، تختلف مدة اللقطات المتتابعة وقد تعتمد على بروز المُدْخَل، وحركات العين، والتعوُّد، والتوقع، إلخ. إضافة إلى ذلك، ربما لا يتزامن بالضبط زمن لقطة لصفة واحدة مع زمن لقطة لصفة أخرى.

يتمثل التحدى فى فهم كيفية انبثاق اللقطات المتقطعة زمنيا من الائتلافات غير الثابتة نسبيا بين الخلايا العصبية التى يتولد نشاطها باستمرار فى الزمن.

الفرضية ٨: الانتباه والارتباط

يمكن تقسيم الانتباه الانتقائى إلى شكلين على الأقل ـ واحد من أسفل إلى أعلى مدفوع بالبروز، وآخر من أعلى إلى أسفل ويُضبَط إراديا. الانتباه من أسفل إلى أعلى سريع وتلقائى. يعبر الانتباه من أسفل إلى أعلى، مهيمنًا عليه تيار المُدْخَل، عن بروز خاصية أو شىء يرتبط بخصائص فى منطقته. ويعتمد الانتباه من أعلى إلى أسفل على المهمة المطروحة ويمكن توجيهه إلى موضع، إلى صفة معينة فى مجال الرؤية، أو إلى شىء (القسم ٩ ـ ١ والقسم ٩ ـ ٢).

يمكن التعبير عن كل هذه المفاهيم السيكولوجية فى علاقتها بالشبكات العصبية المناسبة. يمكن إدراك أكثر من شىء أو حدث فى الوقت ذاته، بشرط عدم تداخل تمثيلهما فى شبكات المهاد واللحاء. إذا لم تتداخل، يفضل الانتباه من أسفل إلى أعلى المدرك الأكثر بروزا. إذا كان بروزها متساويا، يكون الانتباه من أعلى إلى أسفل مطلوبًا لتعزيز التمثيل العصبى للمحفز موضع الانتباه على حساب المحفز المُهْمَل. أى إن الانتباه يوجه التنافس بين الائتلافات المتنافسة، وخاصة أثناء تكوينها (القسم ١٠ ـ ١ والقسم ١٠ ـ ٢).

دون هذا التداخل، ربما لا يُطلَب الانتباه من أعلى إلى أسفل بشكل قاطع لإدراك شىء (القسم ٩ ـ ٢). على سبيل المثال، يمكن بوعى إدراك شىء مفرد ومألوف ومعزول والانتباه من أعلى إلى أسفل مشغول بموضع آخر. من المرجح أن يتجاوز إدراكُ الجوهر آليات انتقاء الانتباه.

بناء على ما سبق ذكره، يتحالف الانتباه بقوة مع الوعى رغم احتمال إنجازه بعملية عصبية متميزة. ومن ثم، ربما لا يكون هناك دائما علاقة مباشرة بين بؤرة الاهتمام والمحتوى الحالى للوعى.

تُمثِّل العقدُ الأساسية فى كل أرجاء اللحاء الصفاتِ المتنوعةَ لشىء ـ لونه وحركته والأصوات التى تصدر عنه، إلخ ـ بأسلوب صريح. تمثل كيفية اتحاد هذه

المعلومات لتقديم مدرك واحد متسق وجها من أوجه مشكلة الارتباط (القسم ٩ ـ ٤)؛ ثمة وجه آخر وهو كيفية بقاء تميز المعلومات الواردة من أشياء متعددة.

يتطلب الأمر التمييز بين ثلاثة أنواع من آليات الارتباط. يمكن لمجموعات من الخلايا التخصص فى التغيرات المتأصلة فى التعبير الجينى فى الاستجابة لآليات معينة للمُدْخل، مثل الموضع والتوجه فى اللحاء البصرى الأولي. يمكن أيضًا أن تلتف الخلايا العصبية خلال الخبرة لتشفِّر شيئا، مثل وجه شخص مألوف أو شهير وصوته وأساليبه المميزة. ربما يكون هذان الشكلان من الارتباط مستقلين عن الانتباه من أعلى إلى أسفل. ثمة نوع ثالث من الارتباط يتعامل مع الأشياء أو الأحداث الجديدة أو التى تندر مواجهتها. فى هذه الحالة، ربما يكون الانتباه الانتقائى من أعلى إلى أسفل ضروريا لربط أنشطة العقد الأساسية المنفصلة (التى تشفر مختلف صفات المُدْرَك) معا.

الفرضية ٩: أساليب التأجج

ربما يقوى تفريغ جهد الفعل المتزامن أو الإيقاعى (وخاصة فى حزمة ٣٠-٦٠ هرتز) التأثير بعد المشبكى للخلايا العصبية ـ ينخسها ـ دون تغيير معدل تأججها بالضرورة (القسم ٢-٣). ومن الأغراض المرجحة مساعدة الائتلاف الناشئ فى تنافسه مع الائتلافات الأخرى المُشكَّلة حديثًا. ربما يوجه الانتباهُ التنافسَ بين الائتلافات بتعديل درجة التزامن بين الخلايا العصبية فى ائتلاف، معززا التأثير بعد المشبكى للمجموعة.

ربما لا يكون تزامن النشاط الشوكى بين الخلايا العصبية مطلوبا بمجرد وصول ائتلاف ناجح إلى الوعى؛ لأنه ربما يقدر على الاستمرار، دون مساعدة التزامن، لبرهة على الأقل.

ربما تناظر إيقاعات التأجج فى حزم ٤-١٢ هرتز معالجة اللقطة المميزة.

الفرضية ١٠: الإطار والمعنى والكوليا

يجند الائتلاف الفائز أعضاءه فى اللحاء والمهاد والعقد القاعدية والشبكات الأخرى المتحالفة بقوة. ويؤثر هذا الائتلاف فى كثير من الخلايا العصبية التى

ليست جزءا من الارتباطات العصبية للوعى - إطارها. يشمل الإطار الركيزة العصبية لارتباطات الماضى، والنتائج المتوقعة للارتباطات العصبية للوعى، والخلفية المعرفية، والخطط المستقبلية. الإطار خارج الارتباطات العصبية الحقيقية للوعى، رغم أن بعض عناصره قد تصبح جزءًا من الارتباطات العصبية للوعى وهى تتحول. يمد الإطارُ الدماغَ بمعنى العقد الأساسية المناسبة- ما تدور حوله (القسم ١٤ - ٥).

من غير الواضح إن كان مجرد التنشيط المشبكى للإطار كافيا للمعنى أم أن الارتباطات العصبية للوعى مطلوبة لإطلاق جهود الفعل داخل الخلايا التى تشكل الإطار. ربما تعتمد الإجابة على مدى الامتدادات من الإطار عائدة للخلف لدعم الارتباطات العصبية للوعى واستمرارها.

الكوليا شكل رمزى من أشكال التمثيل لكل هذا المحيط الشاسع من المعلومات الصريحة والضمنية المرتبطة بالارتباطات العصبية للوعى. تأتى لتساند الإطار. الكوليا خاصية للشبكات المتوازية للتغذية الرجعية فى الدماغ يبقى نشاطها أدنى فترة.

يبقى بقاء الكوليا بهذا الشكل لغزًا.

١٩ - ٢ العلاقة بعمل الآخرين

شهدت الأعوام العشرين الأخيرة تيارًا مستمرًا من الفرضيات المحملة بنكهة بيولوجية تتعلق بالارتباطات العصبية للوعى. وهى جديرة بالذكر للتوجه المنعش الذى تهاجم به هذه المشكلة، التى أثارت السخرية بين الصفوة قبل ذلك ببضع سنوات فقط.[٣] أشرْتُ إلى الكثير من الأفكار الفردية فى موضعها. تصور بعض الأكاديميين المشكلة بمصطلحات تخضع للمقاربة المستمرة البيولوجية العصبية على المستوى الخلوى الذى أؤيده. كيف يرتبط عملنا بأعمال هؤلاء؟

كما وضحْتُ فى الفصل الخامس، شيد إدلمان وحده، وبالاشتراك مع تونونى، على مدار خمس سنوات إطارا معقدا لتطبيع الوعى.[٤] أشار إدلمان وتونونى، بادئين من ملاحظتين توءمين بأن الوعى يحس موحَّدًا (اتساق الوعى) ومتميزًا

تماما (عدد كبير بشكل لا يصدق من الحالات الظاهرية الممكنة)، أشارا إلى وجود مجموعة كبيرة من الخلايا اللحائية ـ المهادية منظمة فى عملية عصبية موحدة من جوهر ديناميكى بالغ التعقيد. يؤسس هذا الائتلاف من الخلايا العصبية خبرة الوعى. يستقر لمئات من ملى ثانية بتغذية رجعية هائلة (يسميها إدلمان حلقات الإشارة) ويتحدد بمتطلب وظيفى بأن الأعضاء الأساسية تتفاعل معا بشكل أقوى من تفاعلها مع بقية الدماغ. لا يختلف هذا الجوهر الديناميكى عن تصورنا للارتباطات العصبية للوعى حيث يمتد الائتلاف السائد من الخلايا العصبية جزئيا عبر اللحاء.

ينكر إدلمان وتونونى أن الخواص الموضعية الجوهرية للخلايا العصبية، لدوائر عصبية محددة، أو لمناطق لحائية تلعب دورًا مميزًا فى الجذور العصبية للوعى. يؤكدان على أهمية الخصائص العامة للجوهر الديناميكى، وخاصة قدرات مجموعات الخلايا العصبية لتشكيل عدد مشترك غير محدود من التجمعات الثانوية لتعقيد شبكى شديد. العيب الحقيقى لنظرية شمولية من هذا النوع الصعوبة المتأصلة فى إخضاعها للإثبات الإمبريقى وتفسير إمكانية حدوث الكثير من نشاط الدماغ وسلوكه دون إحساس واعٍ.

الأقرب بوضوح لنظريتنا فى الروح نظرية ديين Dehaene (القسم ١٥ ـ ٢) والعالم البارز فى البيولوجيا الجزيئية جان بيير شانجو Changeux فى معهد باستير فى باريس.[٥] فى تفكيرهما، المدعوم بنموذج كمبيوتر للأحداث العصبية المصاحبة للانتباه البصرى الانتقائى وغير الانتقائى،[٦] الرابطة الأولية للوعى اندفاع فجائى، يتضخم ذاتيا، فى نشاط، يعززه نشاط التغذية الرجعية من لحاء مقدم الفص الجبهى والمطوقة واللحاء الجدارى. بمجرد أن يتخطى هذا النشاط عتبة، يكفى للوصول إلى شبكة عامة من الخلايا العصبية الممتدة لمسافة طويلة والمترابطة بشكل تبادلى توفر مدخلا للذاكرة العاملة، ومصادر معرفية أخرى مثل التخطيط. هذا مثيل عصبى لمكان العمل العام عند بارس Baars (انظر الهامش ٢٨ فى الفصل الخامس). يمنع التنافس داخل هذه الشبكة بقاء أكثر من ائتلاف عصبى فى لحظة واحدة. تؤثر إشارات الانتباه من أسفل إلى أعلى ومن أعلى إلى أسفل فى الوصول إلى مكان العمل العام.

من الواضح أن هناك مشتركات كثيرة بين فرضيتهما وفرضيتنا. موضع اختلافنا بشكل أساسى فى مناقشاتنا المتعلقة بالتشفير الصريح، والعقد الأساسية، وإقصاء الارتباطات العصبية للوعى من مناطق معينة- مثل اللحاء البصرى الأولي وأجزاء من لحاء مقدم الفص الجبهى، موطن القزم غير الواعى.

أتشجع، عموما، على القول إن الكثير من هذه الفرضيات تلتقى فى مفاهيم لا تختلف كثيرًا (رغم التعبير عنها غالبا بصيغ مختلفة).

هناك اختلاف واضح بين الأفكار التى نعبر عنها فى هذا الكتاب وأفكار الآخرين. يؤكد معظم الأكاديميين على أهمية السمات الجمعية شبه الجشتالت للدماغ وشبكاته فى فهم الوعى، بينما لا يوجد شك فى أن الكثير من الجوانب العامة جوهرية بشكل مطلق بالنسبة لتوليد الوعى، لا ينبغى أن يأتى هذا على حساب إهمال صفات المشابك والخلايا العصبية وتنظيماتها الخاصة. كما وضحت البيولوجيا الجزيئية باقتناع كبير، تسمح لها التفاعلات الخاصة بين الجزيئات المفردة بتشفير المعلومات ونسخها على مدار حياة الكائن. تحاول مقاربتنا التأليف بين الأوجه الموضعية والشمولية للوعى للوصول لرؤية جديدة لمشكلة قديمة جدا.

١٩ - ٣ أين نذهب من هنا؟

أريد إنهاء هذا الفصل بالمجازفة ببعض الظنون بشأن المناهج والتجارب المطلوبة للوصول بالبحث عن طبيعة الوعى إلى استنتاج ناجح.

من الضرورى تطوير فهم يعتمد على المبادئ لخواص الائتلافات الصغيرة والكبيرة لخلايا مقدم الدماغ باستخدام التسجيلات الكهربية والبصرية لمساراتها الشوكية فى الحيوانات المدربة بشكل مناسب. يتطلب حل شفرة الجيجابيتات gigabytes للبيانات المأخوذة حتى من تجربة واحدة من هذا النوع وعرضها وفهمها وسائل حسابية جديدة.

يمكن الآن متابعة النشاط الشوكى المتزامن من الكثير من الخلايا العصبية فى مراحل متعددة فى التدرج البصرى وفى مقدم اللحاء والقرد يحس بتنافس

العينين، أو قمع الوميض، أو العمى الناتج عن الحركة، أو المحفزات الأخرى للإدراك التى يمكن فيها لمحفز فيزيائى واحد والمحفز نفسه أن يؤدى إلى مدركات مختلفة (الفصل ١٦). تسمح التقنيات الحديثة فى التخدير للقرد بالنوم بسرعة وبشكل يمكن عكسه والأقطاب الكهربية فى موضع مناسب، مما يسمح بمقارنة مباشرة بين الحالات الشعورية وغير الشعورية وقد يكشف المفاتيح الأساسية التى تنير الارتباطات العصبية للوعى.

أحيانا، تُغرَس أقطاب متعددة بشكل مزمن فى مرضى متيقظين. بإذن منهم، يمكن تقديم بيانات قليلة وحاسمة عن سلوك الخلايا العصبية أثناء الإدراك الواعى أو التخيل. وقد يكون ذلك بلا قيمة إذا أمكن تحفيز النسيج اللحائى بشكل مماثل بمثل هذه الأقطاب الكهربية لتوليد مدركات أو أفكار أو أفعال خاصة. [٧]

تتطلب تقنيات التصوير بالرنين المغناطيسى مزيدا من التحسن. بينما تفتقر إلى الوضوح الزمنى المكانى للأقطاب الكهربية المجهرية، تسمح بتتبع النشاط الأيضى وتدفق الدم والنشاط العصبى فى الدماغ كله. استخدام الأصباغ فى الرنين المغناطيسى المتطور، لاقتفاء المستويات الزائدة من الكالسيوم داخل الخلايا، أو نتاج الجين فى الحيوانات، جديرة بالذكر بشكل خاص.[٨] الطرق الاقتحامية التى تكتشف الجينات المبكرة الفورية (مثل c-fos)، [٩] التى تعتبر مؤشرا للنشاط العصبى، مفيدة جدا لأنها تسمح بتحديد دقيق للخلايا الفردية النشطة فى القوارض أو الحيوانات الأخرى ذات الأدمغة الصغيرة.[١٠]

لا يمكن المغالاة فى التأكيد على الدور الحاسم لتشريح الجهاز العصبى باعتباره الخلفية الأساسية لهذا البحث. يماثل البصيرة التى قدمها مشروع الجينوم البشرى للبيولوجيا الجزيئية. ويتطلب الأمر توسعا هائلا لمعرفة الأنماط التفصيلية للربط داخل لحاء المخ والمهاد، وخاصة وصف الأنواع الكثيرة المختلفة من الخلايا الهرمية فى منطقة لحائية خاصة. كيف تبدو، وإلى أين تمتد، وأخيرا، هل لكل منها مجموعة علامات جينية متميزة؟ هل هناك أنواع من الخلايا الهرمية لا توجد فى كل مناطق اللحاء. حين نسجل النشاط الشوكى من خلية عصبية من المفيد معرفة نوع هذه الخلية وإلى أين تمتد. فهم جغرافيا

الفص الجبهى، الآن فى مهده، مطلوب بشدة. هل هناك تدرج هرمى، أم يحتمل أن يكون هناك تدرج عكسى، مثلما يوجد فى الجهاز البصرى (القسم ٧-٢)؟

كما أكدْتُ فى الكتاب، الخلايا العصبية ليست مجرد آلات نمطية تحول المُدْخَل المشبكى إلى تيارات من جهود الفعل لنتاجها. لها هويات فريدة: بشكل خاص، تمتد محاورها إلى مواضع مختلفة وترتبط بفئات مختلفة من الخلايا. من المرجح تماما أن تختلف رسالتها، اعتمادًا على طبيعة المستقبلات. عند متابعة نتاج خلية عصبية بمساعدة قطب كهربى قريب، من المطلوب معرفة الجمهور المستهدف **لهذه الخلية الخاصة**. تسجيلات مجهولة المصدر، كما تمارس على نطاق واسع اليوم، لن تكفى أبدًا للمساعدة فى تشريح الدوائر المسئولة لمُدْرَك. يتطلب الأمر تطوير تقنيات مناسبة (التحفيز ضد الاتجاه، التنشيط الضوئى) وتعزيزها بحيث يمكن تطبيقها بشكل روتينى على الحيوانات النشطة. التوصل إلى القائمة الكاملة لامتداد الخلايا العصبية إلى منطقة يساعد إلى حد بعيد فى تحقيق هذه الغاية.

لا يزال استغلال القدرة الكامنة الحقيقية للبيولوجيا الجزيئية على كشف دوائر الدماغ وتشريحها فى البداية. تنسى الطرق تحت التطوير حاليا بتعمد وانتقائية وبشكل مؤقت ويمكن عكسه المجموعات المعرفة وراثيا من الخلايا العصبية فى الثدييات.[11] تسمح هذه الأدوات باختبار أفكار كثيرة عرضناها فى هذا الكتاب بتشريح الدوائر ذات الصلة. على سبيل المثال، تخيل أن بعض أنواع ارتباطات التغذية الرجعية اللحائية ـ اللحائية يمكن إيقافها وتشغيلها من جديد، بإعاقة وجيزة للمشابك المناسبة، دون تعارض مع المسارات الأمامية. وقد يسمح هذا بتقييم مباشر لأهمية إشارات التغذية الرجعية من أعلى إلى أسفل للانتباه الانتقائى والوعى. لإدراك كامل للوعد الهائل الذى تقدمه هذه التقنيات الجزيئية، يجب تطوير فحوص الانتباه والوعى، التى تناسب الفئران والكائنات الأبسط، مثل ذباب الفاكهة. ينبغى أن تكون هذه الاختبارات قوية وعملية بشكل كاف يسمح بفحص للتحولات السلوكية على نطاق واسع.

١٩ ـ ٤ الملخص

كل العمل التصورى الجارف الذى انهمكتُ فيه أنا وفرنسيس على مدى

السنوات ملخص فى هذا الفصل فى شكل عشر فرضيات عمل. هذا الإطار المبدئى مرشد لصياغة فرضيات أكثر تفصيلا، بحيث يمكن اختبارها أمام الأدلة الموجودة بالفعل. إضافة إلى ذلك، ينبغى أن يقترح الإطار تجارب جديدة. وفى العقود القادمة، سوف يحل صرح نظرى قوى مكان البناء المؤقت.

نسعى أنا وفرنسيس لتفسير كل أوجه منظور الشخص الأولى للوعى فيما يتعلق بنشاط الخلايا المحددة، والارتباطات بينها، وديناميكيات الائتلافات العصبية. وهذا يشبه إلى حد ما لعب شطرنج ثلاثى الأبعاد:[١٢] عليك الاستمرار فى متابعة ظواهر الوعى، وسلوك الكائن، والأحداث العصبية المسئولة. لن يكون سهلا، إذا كانت المهمة جديرة بالاهتمام حقا.

نحيا فى نقطة فريدة من تاريخ العلم. التكنولوجيا التى تكتشف وتصف كيفية انبثاق العقل الذاتى من الدماغ الموضوعى فى طور البحث. السنوات التالية حاسمة.

الهوامش:

(١) Crick and Koch, 2003.

(٢) epigenetics : دراسة التغيرات الموروثة فى النمط الظاهرى (المظهر) أو تعبير الجين الناتج عن آليات غير التغيرات فى الدنا DNA المسئول (المترجم).

(٣) بجانب الأبحاث التى استشهدنا بها من قبل أو فى النص الأساسى، أذكر Greenfield, 1995 1998 ;Gotterill, 1998 ;Llinas et al., 1998 :Calvin, 1998 ;Jaspers, 1998 ;Taylor, 1998.

(٤) Edelman, 1989, 2003 ; Tononi and Edelman, 1998 ; Edelman and Tononi, 2000.

(٥) Dehaene and Changeux, 2004 Changeux, 1983 Dehaene, and Naccache, 2001 ;Changeux, 2003 Dehaene, Sergent and

(٦) عدم الانتقاء deselection: الإغلاق على قائمة اختيارات (المترجم).

(٧) Fried et al., 1998 ;Graziano, Taylor and Moore, 2002

(٨) Li et al., 2002 ;Alauddin et al., 2003

(٩) c-fos : فى مجال البيولوجيا الجزيئية، بروتين فى الإنسان يشفره جين FOS (المترجم).

(١٠) رغم صعوبة هذه الطرق إلى حد ما. Dragunow and Faull, 2002 ; Han et al., 2003

(١١) Lechner, Lein and Callaway, 2002 ; Slimko et al., 2002 Yamamoto et al., 2003.

(١٢) شطرنج ثلاثى الأبعاد three-dimensional chess: شطرنج يلعب على لوحات ثلاثية الأبعاد، ويوجد منذ القرن التاسع عشر (المترجم).

الفصل العشرين

حوار

قالت أليس: "أخبرنى من فضلك، ماذا يعنى ذلك؟"

قال هامبتى دامبتى، وقد غمرته السعادة: "الآن، تتحدث مثل طفل حصيف. قصدتُ بكلمة - استحالة الاختراق - أننا تناولنا هذا الموضوع بما فيه الكفاية، ويبدو بالضبط كأنك تذكر ما تقصد القيام به بعد ذلك، كما أفترض أنك لا تنوى التوقف هنا بقية حياتك." (١)

لويس كارول،(٢) "عبر المرآة"

ماذا يساوى هذا كله فى المخطط العظيم للأشياء؟ من الطبيعى أن يثير التفكير فى الوعى حشداً من الأسئلة عن المعنى، والتجارب على الحيوانات، والإرادة الحرة، واحتمال وعى الآلة، إلخ. فى هذه المقطع الختامى، أطرح بعض هذه المواضيع فى صياغة أسهل للتأمل، فى حوار مختلق.

المحاور (م): لنبدأ من البداية. ما الاستراتيجية العامة التى تتبعها فى تناول هذه المشكلة؟

كريستوف (ك): أولا، أتناول الوعى بجدية، باعتباره حقيقة مبهمة تحتاج لتفسير. منظور الشخص الأول والمشاعر والكوليا والوعى والخبرات الظاهرية-

سمها ما شئت - ظواهر واقعية تنبثق من عمليات متميزة فى الدماغ. وتشكل مشهد حياة الوعى: الأحمر العميق للغروب على المحيط الهادئ، وعبير وردة، والغضب المفاجئ الذى ينفجر عند رؤية كلب يتعرض للإساءة، وذكرى انفجار مكوك الفضاء تشالنجر فى التليفزيون على الهواء مباشرة. قدرة العلم على فهم الكون محدودة إن لم يستطع، وحتى يستطيع، تفسير كيف تكون الأجهزة الفيزيائية كافية لهذه الحالات الذاتية.(٣)

ثانيا، أرى أن ننحى الآن المشاكل الصعبة التى يجادل فيها الفلاسفة - وخاصة لماذا أشعر بشىء ما حين أرى أو أسمع أو أكون أنا - والتركيز على الاستكشاف العلمى للارتباطات الجزيئية والعصبية للوعى. المسألة التى أركز عليها هى "**ما أقل آليات عصبية كافية بشكل مشترك لمُدرَك شعورى معين؟**" واضعين فى الاعتبار التكنولوجيات المذهلة التى تحت تصرف علماء الدماغ - هندسة جينوم الثدييات، الذى يسجل بشكل متزامن من مئات الخلايا العصبية للقرد، مصورا الدماغ البشرى الحى - يمكن تتبع البحث عن الارتباطات العصبية للوعى، وبشكل محدد وواضح، وسوف يستسلم لهجوم علمى منسق.

م : هل تعنى ضمنا أن اكتشاف الارتباطات العصبية للوعى يحل لغز الوعى؟

ك : لا، لا، لا! فى النهاية، المطلوب تعليق مبدئى يفسر كيف يكون لأنواع معينة من الكيانات البيولوجية المعقدة، وفى ظل أى ظروف، خبرات ذاتية ولماذا تظهر هذه الخبرات بالشكل الذى تظهر به. اكتظت آخر ألفى سنة بمحاولات لحل الأسرار، وهكذا فهى حقا مشاكل صعبة.

تذكر كم كشف توضيح البنية الحلزونية المزدوجة للدنا DNA عن الاستنساخ الجزيئى؟ ترتبط السلسلتان المتكاملتان من السكر والفوسفات والقواعد الأمينية، بروابط هيدروجينية ضعيفة، وتوحيان فوراً بآلية يمكن بها تمثيل المعلومات الجينية ونسخها ونقلها إلى الجيل التالى. أدى معمار جزىء الدنا إلى فهم الوراثة التى كانت ببساطة تتجاوز قدرات الأجيال السابقة من الكيميائيين وعلماء الأحياء. بالتماثل، ربما تقدم معرفة أين توجد الخلايا العصبية التى تتوسط مُدْرَكًا شعوريا معينًا، وإلى أين تمتد ومن أين تستقبل المعلومات، ونمط تأججها،

وتاريخها الارتقائى من الميلاد إلى مرحلة البلوغ، إلخ، ربما تقدم اختراقًا مماثلا على طريق نظرية مكتملة عن الوعى.

م : حلم بعيد المنال.

ك : ربما، لكن ليس هناك بديل معقول لفهم الوعى بالبحث عن الارتباطات العصبية للوعى. أوضحت الخبرة أن الجدل المنطقى والاستبطان، الطريقتين المفضلتين للعلماء على مدار الزمان باستثناء القرنين الأخيرين، ببساطة ليسا قويين بما يكفى لتحطيم هذه المشكلة. لا تستطيع أن تبرر طريقتك فى تفسير الوعى. الأدمغة بالغة التعقيد، ومرتبطة شرطيا بالكثير جدا من الأحداث العشوائية وحوادث تاريخ التطور، بشكل يجعل تلك الطرق النظرية تفشل فى إلقاء الضوء على الحقيقة بنجاح. بدلا من ذلك، عليك اكتشاف الحقائق. ما مدى الخصوصية التى تنسج بها محاورُ الأعصاب اللوحةَ بين الخلايا العصبية؟ هل يلعب التأجج المتزامن دورا حاسمًا فى تكوين الوعى؟ ما أهمية مسارات التغذية الرجعية التى تقطع اللحاء والمهاد؟ هل هناك أنواع معينة من الخلايا العصبية مسئولة عن الارتباطات العصبية للوعى؟

م : إذن، ما دور الفلاسفة فى بحثك عن نظرية علمية للوعى؟

ك : تاريخيا، ليس للفلسفة سجلٌ لمسار مؤثر فى الرد على أسئلة عن العالم الطبيعى بأسلوب حاسم، سواء كان أصل الكون وتطوره، أو أصل الحياة، أو طبيعة العقل، أو مناظرة الطبيعة مقابل التنشئة. ونادرًا ما يدور الحديث عن هذا الفشل فى اجتماع أكاديمى مهذب. يبرع الفلاسفة، رغم ذلك، فى طرح أسئلة تتعلق بالمفاهيم من وجهة نظر لا يهتم بها العلماء عادة. مفهوم المشكلة الصعبة فى الوعى مقابل مفهوم المشكلة السهلة، الوعى الظاهرى مقابل العميق، محتوى الوعى مقابل الوعى ذاته، انسجام الوعى، الشروط العلية لحدوث الوعى، إلخ، قضايا فاتنة ينبغى أن يتأملها العلماء أكثر. هكذا، استمع إلى الأسئلة التى يطرحها الفلاسفة ولا تجعل إجاباتهم تربكك. ثمة مثال جيد وهو زومبى الفيلسوف.

م : زومبيون؟ أناس موتى ملعونون يتجولون بأذرع مفتوحة؟

ك : حسنًا، لا. أناس مثلك ومثلى دون مشاعر شعورية. يستخدم ديفيد تشلميرز[٤] وفلاسفة آخرون هذه الكائنات المختلقة عديمة الروح للبرهان على أن الوعى لا ينبع من قوانين فيزيائية للعالَم؛ لن تساعد المعرفة بالفيزياء وعلم الأحياء وعلم النفس بمثقال ذرة فى فهم كيف تدخل الخبرةُ العالَمَ ولماذا. يتطلب الأمر شيئا آخر.

لا يدهشنى هذا الزومبى الراديكالى المتخيل بوصفه مفهوما مفيدا جدا؛ لكن هناك نسخة أكثر تواضعا ومحدودية. اخترْتُ أنا وفرنسيس هذا المصطلح المبهر للتعبير عن مجموعة سلوكيات حركية حسية نمطية سريعة لا تكفى وحدها للأحاسيس الشعورية. المثال الكلاسيكى هو التحكم الحركى. حين تريد الجرى بطول مسار، "تفعل ذلك ليس إلا". تتكفل حواس الوضع، والخلايا العصبية والجهاز الهيكلى العضلى بالبقية، وأنت فى طريقك. حاول أنت تتأمل ذاتك وسوف تصطدم بحائط أبيض. ليس للوعى مدخل لسلسلة الحسابات والأفعال المعقدة بصورة مذهلة المسئولة عن مثل هذا السلوك الذى يبدو بسيطًا.

م : السلوكيات الزومبية انعكاسية إذن لكنها أكثر تعقيدًا؟ الوصول إلى كوب ماء بمد ذراعك وفتح يدك تلقائيا لتناوله يشكل فعلا زومبيا يتطلب مُدْخَلاً بصرية لضبط الذراع واليد. تقوم بآلاف من هذه الأفعال يوميا. "ترى" الكوب بالطبع، لكن فقط لأن نشاطًا عصبيا فى جهاز مختلف مسئول عن المُدْرَك الشعورى.

م : تعنى أن الأجهزة الزومبية اللاشعورية توجد مع الأجهزة الشعورية فى الأشخاص العاديين الأصحاء.

ك : بالضبط. جزء كبير بشكل محبط من سلوكك اليومى شبه زومبى: تقود سيارتك إلى العمل بتلقائية، تحرك عينيك، تغسل أسنانك بالفرشاة، تربط حذاءك، تحيى زملاءك فى القاعة، وتقوم بعدد هائل من الأعمال الروتينية التى تشكل الحياة اليومية. أى نشاط يتم التدريب عليه جيدا

بشكل كاف، مثل تسلق الصخور، أو الرقص، أو الفنون الزوجية، أو التنس يتم على أكمل وجه دون تفكير واعٍ متأنٍّ. التأمل كثيرا جدا فى أى فعل يعوق سهولة إنجازه.

م : إذن، ما ضرورة الوعى عموما؟ لماذا لا أستطيع أن أكون زومبيا؟

ك : حسنا، لا أعرف سببا منطقيا يجعلك لا تستطيع، رغم أن الحياة قد تكون مملة تماما دون إحساس (بالطبع، قد لا تشعر بضجر وأنت زومبى). ومع ذلك أخذ التطور مسارًا مختلفًا على هذا الكوكب.

ربما لا تكون بعض الكائنات البسيطة سوى حِزَمٍ من عوامل زومبية. هكذا ربما لا تشعر بشىء حين تكون قوقعة أو دودة مدورة.(٥)

إذا تصادف أنك كائن لديه الكثير من حواس مُدْخَلٍ ومستجيبات نتاج، من الثدييات مثلا، فإن تكريس جهاز زومبى لكل اتحاد محتمل بين مُدْخَلٍ ونتاج يصبح باهظ الثمن حقا. يشغل مساحة أكبر بكثير فى الجمجمة. بدلا من ذلك اختار التطور مسارًا مختلفًا، مطوِّرًا جهازا قويًا ومرنًا مسئوليته الأولية التعامل مع غير المتوقَّع والتخطيط للمستقبل. تمثل الارتباطات العصبية للوعى جوانب منتقاة من البيئة ـ جوانب تشعر بها حاليا ـ بطريقة مندمجة. وتتوافر هذه المعلومات لمراحل التخطيط فى الدماغ، بمساعدة شكل من أشكال الذاكرة الفورية.

بلغة الكمبيوتر، يناظر محتوى الوعى الحالى حالةَ ذاكرة التخزين المؤقت فى وحدة المعالجة المركزية. وتيار وعيك يتنقل بسرعة من مُدْرَكٍ بصرى إلى ذاكرة إلى صوت يخرج هناك، يتذبذب أيضًا محتوى ذاكرة التخزين المؤقت.

م : نعم، وظيفة الوعى، إذن، معالجة مواقف خاصة لا تتوافر لها إجراءات تلقائية. يبدو الأمر معقولا. لكن لماذا يتزامن هذا مع مشاعر ذاتية؟

ك : نعم، ثمة عقبة. الآن، ليست هناك إجابات، أو، إذا شئنا مزيدًا من الدقة، هناك إجابات متنافرة، ليس من بينها إجابة مقنعة أو مقبولة على نطاق واسع. أظن أنا وفرنسيس أن المعنى يلعب دورًا حاسمًا

م : كما فى معنى كلمة؟

ك : لا، ليس بمفهوم لغوى. الأشياء التى أشعر بها أو أراها أو أسمعها فى العالم ليست رموزا بلا معنى لكنها تأتى بتداعيات ثرية. يستدعى أثر اللون المائل للزرقة، لون كوب رائع من الخزف، ذكريات من الطفولة. أعرف أننى أستطيع الإمساك بالكوب وصب الشاى فيه. إذا سقط على الأرض تحطم. ليس من الضرورى أن تكون هذه التداعيات صريحة. تنشأ عن عدد لا حصر له من التفاعلات الحسية الحركية مع العالم عبر حياة من الخبرات. يناظر هذا المعنى المراوغ المجموع الكلى لكل التفاعلات المشبكية للخلايا العصبية التى تمثل الكوب الخزفى مع الخلايا العصبية التى تعبر عن مفاهيم وذكريات أخرى. كل هذه المعلومات الهائلة يُرمَز لها، باختصار، بالكوليا المرتبطة بإدراك الكوب. هذا ما تشعر به.

وإذا تركنا ذلك جانبا الآن، المهم فى هذا المجال، المبتلى بمئات السنين من التأملات الواهية، أن إطارنا يقود إلى اختبارات للوعى. تعمل العوامل الزومبية هنا والآن، لذا لا تحتاج إلى ذاكرة قصيرة المدى. ترى يدا ممدودة، فتمد يدك وتصافحها. لا يستطيع زومبى التعامل مع تأخير بين رؤية اليد والفعل الحركى؛ لم ينشأ ليتعامل مع ذلك. كلما كان أقوى، وإن يكن أبطأ، يسيطر عليه جهاز الوعى.

يمكن لهذه السلوكيات المختلفة أن تتشكل فى اختبار إجرائى بسيط للوعى فى الحيوانات أو الرُّضَّع أو مرضى لا يتواصلون مع خبراتهم بسهولة. ادفع الكائن إلى اختيار، من قبيل كبح سلوك غريزى، بعد تأخير لبضع ثوانٍ. إذا استطاع المخلوق أن يفعل هذا دون تعليم مكثف شامل، فعليه استخدام وحدة التخطيط، وترتبط، على الأقل فى الإنسان، بالوعى ارتباطا قويا. إذا تَلِفَت الارتباطات العصبية بالوعى، المسئولة عن هذا الفعل، (أو عجزت لبعض الوقت) بوسيلة خارجية، لا تحدث الاستجابة المتأخرة بعد ذلك.

م : من النادر أن يكون هذا دقيقا جدا.

ك : عند هذه النقطة من اللعبة، الوقت مبكر جدا لوضع تعريفات منهجية. لنعد بالتفكير إلى خمسينيات القرن العشرين. إلى أى مدى كان لعلماء

البيولوجيا الجزيئية أن يمضوا إذا أزعجهم ما يعنونه بالضبط بالجين؟ وهذا، حتى اليوم، ليس أمرًا سهلا. اعتبرْ فى فرضيتى نوعًا من اختبار تورنج،[٦] باستثناء ألا يكون المقصود منه قياس الذكاء بل الوعى. إنه جيد بما يكفى للتطبيق على من يسيرون نيامًا وعلى القرود والفئران والذباب، وذلك ما يهم.

م : انتظر. هل تقول إن الحشرات قد تكون واعية؟

ك : يعتقد علماء كثيرون أن الوعى يتطلب لغةً وتمثيلا للذات أساسًا للاستبطان. بينما لا يوجد شك فى إمكانية أن يفكر البشر فى أنفسهم بشكل روتينى، فهذا هو التوسع الأخير لظاهرة بيولوجية أساسية جدا تطورت منذ زمن بعيد.

يمكن أن يرتبط الوعى بمشاعر بدائية تمامًا. ترى الأرجوانى وتتألم. لماذا تتطلب هذه الأحاسيس لغة أو حسًا متطوِّرًا جدا بالذات؟ حتى الأطفال المصابون بالتوحد، أو المرضى المصابون بضلالات ذاتية هائلة ومتلازمات تموه الشخصية[٧] لا يفتقرون للوعى الإدراكى الأساسى ـ القدرة على رؤية العالم أو سماعه أو شمه.

يثير الأصل قبل اللغوى للوعى الإدراكى، الوعى الذى أدرسه، مسألة إلى أى مدى يمتد سلم التطور إلى أسفل. عند أى نقطة فى الزمن ظهر تجسيد الارتباطات العصبية للوعى Ur-NCC أول مرة؟[٨] واضعا فى الاعتبار القرابة التطورية القوية بين الثدييات، والتشابه البنيوى بين أدمغتهم، أفترض أن القرود والكلاب والقطط يمكن أن تعى ما تراه أو تسمعه أو تشمه.

م : وماذا عن الفئران، أكثر الثدييات انتشارًا فى معامل علم الأحياء والطب؟

ك : إذا وضعنا فى الاعتبار السهولة النسبية للتعامل مع جينوم الفأر، وغرس جينات جديدة أو انتزاع جينات موجودة، فإن تطبيق اختبار التأخير غير الزومبى على الفئران بطريقة عملية قد يعطى علماء الأعصاب نموذجًا قويا لدراسة أسس الارتباطات العصبية للوعى. يطور معملى ومعامل أخرى نموذج الانتباه والشعور عند الفئران باستخدام الارتباط الشرطى التقليدى البافلوفى.

م : انتظرْ. لماذا قلْتَ "الشعور awareness" بدلا من "الوعى -conscious ness"؟ هل يشيران إلى مفهومين مختلفين؟

ك : لا. إنه عرف اجتماعى بشكل أكبر. تستثير كلمة الوعى ـ الكلمة التى تبدأ بالواو ـ تفاعلات منفرة فى بعض الزملاء؛ ويكون وضعك أفضل مع كلمة أخرى لها تطبيقات مسلم بها وخضوع صحفى. كلمة "الشعور" لا يرصدها الرادار عادة.

نواصل مع وعى الحيوان، لماذا نتوقف عند الفئران أو عند الثدييات؟ لماذا نتعصب للحاء؟ هل نعرف حقا أن لحاء المخ وتوابعه ضرورية حقا للوعى الإدراكى؟ لماذا ليس الحبار الذى ليس له لحاء؟[٩] أو النحل؟ يستطيع النحل، وقد مُنِح مليون خلية عصبية، القيام بأعمال معقدة، تتضمن أعمالا فذة ومدهشة تلائم النمط البصرى. فى حدود علمى، قد تكفى مائة ألف خلية عصبية للرؤية والشم والإحساس بالألم! ربما يعى حتى ذباب الفاكهة، بدرجة محدودة تماما. اليوم لا نعرف بالضبط.

م : يبدو الأمر لى تأملات واهية.

ك : الآن، نعم. لكن التجارب السلوكية والفسيولوجية تدخل هذه التأملات إلى الواقع الإمبريقى، وهذا جديد. لم نكن حتى وقت قريب جدا فى وضع يجعلنا نفكر فى اختبارات صبغة عباد الشمس.

م : هل يمكن تطبيق هذه الاختبارات على الآلات لتحديد إن كانت واعية؟

ك : لستُ فقط عضوا فى كلية البيولوجيا فى كالتيش Catlech، لكننى أيضًا بروفيسور فى قسم الهندسة والعلوم التطبيقية، وهكذا لا أفكر فى الوعى الاصطناعى، المؤسس على التماثل مع بيولوجيا الأعصاب. أى كائن يستطيع أن يأتى بتصرفات تتجاوز الغريزى ولديه طريقة ما للتعبير عن معنى الرموز ـ مرشح للقدرة على الإحساس.

الإنترنت عموما مثال مثير لنظام ناشئ مع ملايين من الكمبيوترات تعمل بمثابة عقد فى شبكة منتشرة لكنها مترابطة بدرجة كبيرة. بينما توجد برامج لتبادل الملفات تربط عددًا كبيرًا من الكمبيوترات، أو حسابات تحل رياضيا

المشاكل المستعصية بتوزيعها على آلاف الآلات، فإن هذه المجموعات تحمل شبها ضعيفا بائتلافات الخلايا العصبية التى تستثير أو تكبح بعضها البعض فى الدماغ. لا توجد سلوكيات جمعية للشبكة العالمية يمكن الحديث عنها. لم أشهدْ قط الظهور التلقائى لفعل هادف على نطاق واسع ليس مصمَّمًا فى برنامج إلكترونى. لا معنى للحديث عن ويب واعٍ إذا لم يقم بهذه السلوكيات بنفسه- بتوجيه توزيع القوة الكهربية، أو ضبط مسارات خطوط الطيران، أو معالجة الأسواق المالية بطريقة لم يقصدها صانعوه. بظهور الكمبيوتر التلقائى مقابل الديدان،[١٠] يمكن لهذا أن يتغير مستقبلا رغم ذلك.

م : ماذا عن الروبوت المزود بسلوكيات شبه انعكاسية ـ لتجنب الوقوع فى المآزق، لمنع بطاريته من الارتشاح، للتواصل مع الروبوتات الأخرى، إلخ ـ بالإضافة إلى وحدة للتخطيط العام. هل يمكن أن يكون ذلك شعوريا؟

ك : حسنًا، افترضْ أن المخطِّط قوى بما يكفى لتمثيل البيئة الحسية الحالية للآلة، بما فى ذلك جسمها وبعض المعلومات المستعادة من بنوك ذاكرتها المناسبة للموقف الحالى، بحيث تقوم بسلوكيات مستقلة وهادفة. افترض، إضافة إلى ذلك، أن روبوتك تعلم أن ينسب الأحداث الحسية لحالات ذات أهداف إيجابية أو سلبية. الحرارة المرتفعة حول الآلة، على سبيل المثال، يمكن أن تسبب هبوطًا فى قوة التيار الكهربى ـ وهو شىء تود تجنبه بأى ثمن. الحرارة المرتفعة لم تعد رقما مجردا ولكنها قد ترتبط بقوة برفاهية الكائن. ربما يتمتع مثل هذا الروبوت بمستوى ما من الوعى البدائى.

م : يبدو هذا كأنه مفهوم بدائى للمعنى.

ك : بالتأكيد، لكننى أشك فى أنك عند مولدك كنت واعيا بأكثر بكثير من الألم واللذة. هناك، رغم ذلك، مصادر أخرى للمعنى. تخيل أن الربوت يؤسس صورا حسية حركية بحسابات لا تخضع لإشراف. قد يتعثر ويتلمس طريقه حول العالم وقد يتعلم، بالمحاولة والخطأ، أن أفعاله تؤدى إلى نتائج متوقعة. فى الوقت ذاته، يمكن بناء صور أكثر تجريدًا بمقارنة معلومات من حاستين أو أكثر (على سبيل المثال، يتزامن غالبا تحريك

الشفتين مع أنماط من الأصوات المتقطعة). كلما كانت الصور أوضح كان مغزى المفهوم أكبر.

لترسيخ هذه المعانى، من الأسهل أن يكرر مصممو الآلة المراحل الارتقائية للطفولة فى الروبوت.

م : مثل "هال" بالضبط، الكمبيوتر المغرور فى فيلم "٢٠٠١"! لكنك لم تجب عن سؤالى السابق بعد. هل يميز اختبار التأخير بين آلة واعية حقا وأخرى زائفة تتظاهر فقط بالوعى؟

ك : بالضبط لأن هذا التمرين الذى يميز الأجهزة الانعكاسية من الأجهزة الواعية فى الكائنات البيولوجية لا يتضمن فعل الشىء نفسه بالنسبة للآلات.

من المعقول أن نسلم على الأقل بأن بعض أنواع الحيوانات لديها القدرة على الإحساس نتيجة تماثلها التطورى والسلوكى والبنيوى مع البشر، مؤسسا على برهان فى صيغة "حيث إننى أعى، كلما كانت الكائنات الأخرى أكثر تماثلا معى ازداد احتمال أن تكون لها مشاعر". يفقد هذا البرهان قوته، مع ذلك، فى وجه الاختلاف الجذرى فى تصميم الآلات وأصلها وشكلها.

م : لنترك هذا الموضوع ونعود إلى أفكارك السابقة عن الارتباطات العصبية للوعى. ماذا افترضتَ أنت وفرنسيس؟

ك : فى أول ما نشرناه عن الموضوع فى ١٩٩٠، قدمنا فكرة أن شكلا من الوعى يتضمن ارتباطًا ديناميكيا بالنشاط العصبى عبر مناطق لحائية متعددة.

م : انتظر، انتظر. أى ارتباط؟

ك : فكِّرْ فى سيارة فيرارى حمراء تسرع بجوارك. يطلق هذا نشاطًا عصبيا فى عدد لا يحصى من المواضع عبر الدماغ، لكنك ترى شيئا واحدًا أحمر فى شكل سيارة، تتحرك فى اتجاه معين، ينبعث منها ضجيج هائل. على المُدْرَك المتكامل أن يتحد بنشاط الخلايا العصبية التى تشفر الأشكال والأصوات. فى الوقت ذاته، تلاحظ سائرا معه كلب يسير

بجوارك. وينبغى أيضًا أن يُمثِّل هذا عصبيا دون الخلط بينه وبين تمثيل الفيرارى.

فى الوقت الذى نشرنا فيه بحثنا فى ١٩٩٠، اكتشفت مجموعتان ألمانيتان، بقيادة وولف سينجر Singer ورينهردت إكهورن Eckhorn، بالتتابع، تزامن أنماط تفريغ الخلايا العصبية فى اللحاء البصرى للقطط، فى ظروف معينة. وقد يحدث هذا بشكل دورى، وكثيرا ما يؤدى إلى الذبذبات الشهيرة ٤٠ هرتز. وقد برهنا على أن هذا من التوقيعات العصبية للوعى.

م : كيف يبدو الدليل الآن؟

ك : يبقى مجتمع علم الأعصاب منقسما بعمق فى موضوع التذبذبات والتزامن. تنشر مجلة علمية دليلا لصالح ارتباطها الوظيفى، وتسخر مساهَمةٌ فى العدد التالى من المفهوم برمته. على عكس الاندماج البارد، الذى لا يوجد دليل مقبول فى صالحه، يُقبَل الوجود الأساسى لتذبذبات عصبية بمعدل تردد من ٢٠ إلى ٧٠ هرتز والتفريغ المتزامن. ويبقى هناك، رغم ذلك، قدر كبير مثير للنزاع. قراءتنا للبيانات أن التأجج المتزامن والمتذبذب يساعد ائتلافًا واحدًا - يمثل مُدْرَكًا واحدًا - يتغلب على الائتلافات الأخرى فى التنافس على السيادة. وقد تكون هذه الآلية مهمة خاصة أثناء توجيه الانتباه. لم نعد نؤمن بأن تذبذبات ٤٠ هرتز ضرورية لحدوث الوعى.

وعدم اليقين هذا عرَضٌ لعدم كفاية الأدوات الموجودة لجسِّ الشبكات العصبية المسئولة عن العقل. فى لحاء من مليارات الخلايا. يمكن أن تسمع أحدث التقنيات الكهروالفسيولوجية نبضات صادرة عن مائة خلية عصبية. هذا تخفيف بواحد على مائة مليون. المطلوب تسجيل النشاط المتزامن لعشرة آلاف خلية عصبية أو مائة ألف.

م : هكذا، إذا كانت الارتباطات العصبية للوعى تتأسس على ائتلاف الخلايا، فإن وجودها يمكن أن يفتقد بسهولة فى جلبة هذه المليارات من الخلايا العصبية التى تحدِّث كل منها الأخرى.

ك : تمام. المسألة مثل محاولة تعلم شيء ذى معنى عن الانتخابات الرئاسية القادمة بتسجيل محادثات يومية لشخصين أو ثلاثة اختيروا بشكل عشوائى.

م : نعم. لننتقل إلى خطوتك الثانية.

ك : جاءت هذه الخطوة فى ١٩٩٥ وتتعلق بوظيفة الوعى، وقد تجاهلناها إلى تلك اللحظة. افترضنا أن الوظيفة الأساسية للوعى التخطيط للمستقبل، مما يسمح للكائن بالتعامل بسرعة مع أحداث كثيرة. ولم يكن هذا، فى ذاته، يختلف كثيرًا عما افترضه علماء آخرون. أخذنا هذه المناقشة خطوة أبعد وتساءلنا عن نتائجها التشريحية العصبية. لأن أجزاء التخطيط فى الدماغ موجودة فى الفص الجبهى، ينبغى أن يكون للارتباطات العصبية للوعى مدخلا مباشرًا لهذه المناطق فى الدماغ. ويتبين أنه لا توجد فى القرد خلايا عصبية داخل اللحاء البصرى الأولي فى مؤخرة الدماغ، ترسل نتاجها إلى مقدمة الدماغ. واستنتجنا بالتالى أن خلايا هذا اللحاء ليست كافية للإدراك البصرى - يتطلب الوعى البصرى مناطق لحائية أعلى.

لا يعنى هذا أن سلامة اللحاء البصرى الأولي ليست ضرورية للرؤية. بالضبط كما أن النشاط العصبى فى عينيك لا يناظر الإدراك البصرى - حيث إنك، دون ذلك، يمكن أن ترى قرصا رماديا من العدم فى النقطة العمياء حيث يغادر العصب البصرى العين ولا توجد مستقبلات ضوئية - نشاط اللحاء البصرى الأولي ضرورى للرؤية لكنه غير كافٍ. ربما لا يكون هذا اللحاء ضروريا للتخيل البصرى أو للإحساس بالأحلام البصرية.

م : لا أفهم ما يجعلك تعول كثيرا على هذا. ماذا إن لم تكن الارتباطا العصبية للوعى فى اللحاء البصرى الأولي؟

ك : حسنًا، إذا صح ذلك - والدليل الحالى مشجع تماما - فإن فرضيتنا تمثل خطوة متواضعة إلى الأمام، يمكن قياسها. وهذا مشجع لأنه يوضح أن العلم يستطيع، بمقاربة صحيحة، التقدم فى كشف النقاب عن الأساس

المادى للوعى. تتضمن فرضيتنا أيضًا أنه لا يتم التعبير عن كل نشاط اللحاء بوعى.

م : إذن أين توجد الارتباطات العصبية للوعى فى هذه المجالات الكثيرة من اللحاء؟

ك : انظر فى مسار "الرؤية للإدراك". إذا كنْتَ مهتما بالوعى البصرى. ائتلاف الخلايا العصبية فى اللحاء الصدغى السفلى وحوله، مدعوما بنشاط التغذية الرجعية من خلايا فى لحاء المطوقة ولحاء الفص الجبهى، ضرورى. بنشاط التغذية الرجعية الارتدادية، قد يفوز الائتلاف على منافسيه. يمكن التقاط أصداء هذا الصراع برسم المخ الكهربائى أو بالتصوير الوظيفى للدماغ.

تتواصل الاستكشافات الكهروالفسيولوجية المتطورة لهذه المناطق من الدماغ بسرعة. تستثمر استراتيجية شعبية الأوهام البصرية حيث لا تتطابق العلاقة بين صورة والمُدْرَك المرتبط بها. رغم وجود المُدْخَل باستمرار، تراها أحيانا بطريقة وأحيانا بأخرى. تستخدم مثل هذه المُدْرَكات ثنائية الثبات - المثال الكلاسيكى مكعب نيكر Necker - لاقتفاء آثار الوعى بين مختلف أنواع الخلايا العصبية فى مقدم الدماغ.

م : لماذا تستدعى حلقة من المناطق الحسية فى اللحاء إلى مزيد من المناطق الجبهية؟

ك : كما ذكرْتُ للتو، هذا واحد من الأدوار بالغة الأهمية للوعى فى حياة الكائن - لا يمكن التعامل مع التخطيط لمواقف متعددة الاحتمالات بالعوامل الحسية الحركية غير الواعية. يحتمل أن تكون الامتدادات من الفصين الجبهيين وإليهما مسئولة عن التخطيط والتفكير والتبرير ومقر الذات، التى تخلق المشاعر القوية بأن هناك قزمًا داخل رأسى - جزءًا من واجهة اللحاء يراقب المؤخرة. أو، بمصطلحات تشريحية، تستقبل المطوقة الأمامية، ولحاء مقدم الفص الجبهى واللحاء قبل الحركى معلومات مشبكية دافعة من مؤخرة اللحاء.

م : لكن ماذا يوجد، بالتالى، داخل رأس القزم؟ ألمْ تنتهِ إلى حلقة لا نهائية؟

ك : لا إن كان القزم، نفسه، غير واعٍ أو كان له دور وظيفى مختزل مقارنة بدور العقل الواعى.

م : هل يمكن للقزم أن يستهل أفعالا بحريةٍ؟

ك : عليك التمييز بدقة بين إدراك الإرادة وقوة الإرادة. انظر، يمكن أن أرفع رأسى وأشعر بالتأكيد أننى أريد هذا. لم يخبرنى أحد بذلك ولم أفكر حتى فيه قبل بضع ثوانٍ. إدراك السيطرة، التأليف - الإحساس بأننى مسئول - ضرورى لاستمرارى فى الحياة، ممكِّنًا دماغى من وصف هذه الأفعال بأنها أفعالى (لإدراك هذا التأليف ارتباطات عصبية للوعى، بالطبع). يشير العالم فى علم نفس الأعصاب دانيال ويجنر إلى أن الاعتقاد فى "أننى أستطيع استهلال أعمال" شكل من التفاؤل.[11] يجعلنى أكمل الأشياء بثقة وحماس قد لا يتوفران للمتشائم قط.

م : لكن هل قُيِّدت يدك المرفوعة تمامًا بأحداث سابقة أم أنها أرادتْ بحريةٍ؟

ك : هل تعنى أن قوانين الفيزياء تترك مجالا لإرادة حرة بمفهوم ميتافيزيقى؟ لكل إنسان رأى فى هذه المشكلة القديمة، لكن لا توجد عمومًا إجابات مقبولة. أعرف شواهد كثيرة من الانفصال بين فعل فرد ونواياه. ترى هذه الزلات فى حياتك الخاصة. حين "تريد" تسلق سلسلة صخور، على سبيل المثال، لكن جسمك لا يتبعك لأنه مروَّع بشدة. أو حين تجرى فى جبال وإرادتك تتراخى وساقاك تواصلان. هناك الكثير من الأشكال المتطرفة للانفصال بين فعل والإحساس برغبة فى القيام به، وتشمل التنويم المغناطيسى، وتدوير الطاولة،[12] والكتابة التلقائية، والاتصالات الميسرة،[12] وتملُّك الأرواح، وضياع الفردية وسط الجموع، واضطرابات الهوية المفككة إكلينيكيا. لكننى أشك فيما إن كان رفع يدى حرا حقا، حرا مثل تدمير سيجفريد لنظام العالم القديم من الآلهة فى مجموعة فاجنر "خاتم نيبلونج".[13]

م : من إجابتك أستنتج، على أية حال، أنك تْعتقد أن بحثك عن الارتباطات العصبية للوعى يمكن أن ينفصل عن مسألة الإرادة الحرة.

ك : نعم. سواء وُجِدت الإرادة الحرة أم لا، مازال عليك تفسير لغز الخبرة، لغز الإحساس.

م : ما النتائج التى تترتب على اكتشاف الارتباطات العصبية للوعى؟

ك : أبرز النتائج ذات طبيعة عملية، مثل تقنيات لتتبع حالة الارتباطات العصبية للوعى. يمكّن مقياسٌ للوعى العاملين فى مجال الطب من متابعة وجود الوعى فى الأطفال المبتسرين والرضع، وفيمن أصيبوا بالتوحد الشديد، أو عته الشيخوخة، وفى المصابين بإصابات تمنعهم من الكلام أو حتى الإشارة. سوف تسمح لأطباء التخدير بممارسة أفضل لحرفتهم. يسمح فهم الأساس الدماغى للوعى للعلماء بتحديد الأنواع الحساسة. هل تحس كل الرئيسات بمشاهد العالم وأصواته؟ كل الثدييات؟ كل الكائنات متعددة الخلايا؟ ينبغى لهذا الاكتشاف أن يؤثر بعمق فى الجدل حول حقوق الحيوان.

م : كيف يكون ذلك؟

ك : يمكن اعتبار الأنواع التى تفتقر للارتباطات العصبية للوعى حزَمًا من حلقات حسية حركية نمطية، بلا خبرات ذاتية، زومبيات. قد تستحق هذه الكائنات حماية أقل من الحيوانات التى تظهر ارتباطاتٍ عصبيةً للوعى فى شروط معينة.

م : هكذا، لا تريد أن تجرى تجارب على الحيوانات التى يمكن أن تشعُر بالألم؟

ك : فى العالم المثالى، لا. رغم ذلك، ماتت إحدى بناتى بعد ولادتها بثمانية أسابيع من متلازمة موت الرضع فجأة؛[١٥] اضمحل أبى على مدى ١٢ عاما من مرض باركنسون وتفاقم الوضع فى النهاية بمرض الزهايمر؛ وقتلت صديقة عزيزة نفسها فى آلام نوبة شديدة من الفصام. يتطلب التخلص من هذه الأمراض والأمراض العصبية الأخرى التى يبتلى بها

الإنسان إجراء تجارب على الحيوانات- باهتمام وشفقة، وبتعاون الحيوان إذا أمكن (كما هو الحال فى الكثير جدا من أبحاث القرود الموصوفة فى هذا الكتاب).

م : ماذا عن النتائج بالنسبة للأخلاقيات والدين؟

ك : المهم من منظور ميتافيزيقى إن كان علم الأعصاب يستطيع الانتقال بنجاح وراء الارتباط بالعلية. يبحث العلم عن سلسلة علية من أحداث تؤدى من نشاط عصبى إلى مُدْرَك ذاتى؛ نظرية تفسر أى كائنات تولّد تحت أى شروط مشاعر ذاتية، أى غرض تخدم، وكيف تحدث.

إذا كانت صياغة مثل هذه النظرية ممكنة دون إحياء كيانات وجودية جديدة لا يمكن تعريفها أو قياسها بموضوعية، فإن المحاولة العلمية، التى تعود إلى عصر النهضة، تواجه آخر تحدٍ عظيم. يكون للبشرية شكل مغلق، تفسير كمى لكيفية انبثاق العقل من المادة. ويرتبط هذا بنتائج مهمة للأخلاق، بما فى ذلك مفهوم جديد للبشر ربما يتناقض جذريا مع الصور التقليدية التى صنعها الرجال والنساء لأنفسهم عبر العصور والثقافات.

م : لن يفتن هذا الجميع. سوف يرى كثيرون أن هذا النجاح يدل على قسوة العلم، دافع وحشى لتجريد الكون من المعنى والدلالة.

ك : لكن لماذا؟ لماذا ينبغى للمعرفة أن تقلص تقديرى للعالم من حولى؟ أخشى أن كل ما أرى أو أشم أو أتذوق أو ألمس مصنوع من ٩٢ عنصرا، بما فى ذلك أنت وأنا وهذا الكتاب والهواء الذى نتنفسه، والأرض التى نقف عليها، والنجوم فى السماء. ويمكن ترتيب هذه العناصر فى مملكة دورية. وهذه، بدورها، تعتمد على ثلاثى أساسى أكثر من البروتونات والنيترونات والإلكترونات. أى شكل سرى للمعرفة القبالية cabbalistic يقدم إشباعا أكبر؟ ولن يقلص أى فهم ذهنى من هذا النوع من حبى للحياة والناس والكلاب والطبيعة والكتب والموسيقى من حولى قدر أنملة.

م : ماذا عن الدين؟ معظم الناس على الكوكب يؤمنون بنوع من الروح الخالدة تعيش بعد موت الجسد. ماذا تقول لهم؟

ك : حسنا، لا يمكن أن يتوافق كثير من هذه المعتقدات مع منظورنا العلمى الحالى. الواضح أن لكل فعل واعٍ أو نية واعية ارتباطات فيزيائية. مع نهاية الحياة، يتوقف الوعى: بلا دماغ لا يوجد عقل. لكن هذه الحقائق الحاسمة لا تستبعد بعض المعتقدات بشأن الروح والبعث والرب.

م : الآن انتهت محنة سنواتك الخمس فى كتابة هذا الكتاب وقد انصرف أبناؤك إلى الجامعة، ماذا أنت فاعل؟

ك : كما جلجل موريس هيرزوج بشكل شهير فى نهاية "أنابورنا"،[١٦] تعليقه على صعوده أول مرة إلى جبل الهملايا الذى يحمل هذا الاسم، "هناك أنابورنات أخرى فى حياة الرجال."

الهوامش:

(١) هامبتى دامبتى Humpty Dumpty: شخصية فى أغانى الأطفال، ربما كانت لغزا فى الأصل. وتمت الإشارة إليها فى عدد كبير من الأعمال الأدبية والثقافة الشعبية (المترجم).

(٢) لويس كارول Carroll (١٨٣٢ ـ ١٨٩٨): عالم رياضيات بريطانى وكاتب، من أشهر أعماله "مغامرات أليس فى بلاد العجائب "Alice's Adventures in Wonderland (١٨٦٥) و"عبر المرآة "Through the Looking-Glass" (١٨٧٢) (المترجم).

(٣) انفجر مكوك الفضاء تشالنجر Challenger فى ٢٨ يناير ١٩٨٦ بعد إطلاقه بثلاث وسبعين ثانية مما أدى إلى وفاة أفراد طاقمه السبعة (المترجم).

(٤) ديفيد تشلميرز Chalmers (١٩٦٦ ـ): فيلسوف أسترالى، متخصص فى فلسفة العقل.

(٥) دودة مدورة roundworm: دودة خطية توجد فى أمعاء الثدييات (المترجم).

(٦) اختبار تورنج Turing test: سلسلة أسئلة تستخدم لقياس الذكاء فى كمبيوتر (المترجم).

(٧) التوحد autism: حالة تتميز بصعوبة شديدة فى التواصل مع الآخرين واستخدام اللغة والمفاهيم المجردة. تموه الشخصية depersonalization : حالة يضيع فيها الإحساس بالهوية الشخصية، حيث يشعر المرء بعدم القدرة على التحكم فى أفعاله وأحاديثه (المترجم).

(٨) تجسيد -Ur: تشير إلى شخص أو شىء يعتبر مجسدًا لخصائص أساسية أو جوهرية من نوع معين (المترجم).

(٩) الحبار squid: حيوان رخوى من رأسيات الأرجل (المترجم).

(١٠) الدودة worm: برنامج يتكرر ذاتيا وينتشر عبر شبكة، يتداخل مع وظائف البرامج، أو يدمر المعلومات المخزونة (المترجم).

(١١) دانيال ويجنر Wegner: بروفيسور أمريكى فى علم النفس فى جامعة هارفارد (المترجم).

(١٢) تدوير الطاولة table turning: جلسات لتحضير الأرواح يجلس فيه المشاركون حول طاولة ويضعون أيديهم عليها وينتظرون دورانها (المترجم).

(١٣) الاتصالات الميسرة: عملية يدعم فيها الميسِّر يد شخص معوق أو ذراعه بينما يستخدم لوحة مفاتيح أو أداة أخرى بهدف مساعدة الشخص على مهارات الاتصال (المترجم).

(١٤) خاتم نيبلونج Der Ring des Nibelungen: مجموعة من أربع أوبرات ملحمية للموسيقار الألمانى فاجنر (١٨١٣-١٨٨٣). وسيجفريد Siegfried العمل الثالث فى هذه الرباعية (المترجم).

(١٥) متلازمة موت الرضع فجأة sudden infant death syndrome: متلازمة تتميز بموت الرضيع بشكل غير متوقع ودون تفسير (المترجم).

(١٦) هيرزوج Herzog (١٩١٩ ـ): متسلق جبال فرنسى. أنابورنا Annapurna : مجموعة من جبال الهملايا، والإشارة هنا إلى كتاب هيرزوج (١٩٥٢) (المترجم).

معجـم المصطلحـات

- تذبذب ٤٠ هرتز 40 Hz Oscillation : انظر التذبذب Oscillation.

- أسيتايل كولين Acetylcholine : ناقل عصبى بالغ الأهمية يفرز فى المشابك. يحول، فى الجهاز العصبى الطرفى، جهد الفعل فى الخلايا العصبية الحركية إلى فعل عضلى. فى الدماغ ذاته، يعمل إفراز الأسيتايل كولين، المعروف بالنقل الكولينى cholinergic، بسرعة، ليستثير مباشرة أهدافًا بعد مشبكية، كما يعمل بشكل أكثر بطأ، لرفع حساسيتها للاستثارة أو خفضها.[1] يرتبط النشاط الزائد للخلايا العصبية الكولينية بزيادة مستويات الإثارة (انظر الشكل ٥ ، ١).

- عمى الألوان Achromatopsia : عيب معين فى إدراك الألوان نتيجة تلف متمركز فى أجزاء من التلفيفة المغزلية (القسم ٨ ـ ٢).

- جهد الفعل Action Potential : تغير يحدث بشكل تام أو لا يحدث، شبيه بالنبض، فى الجهد الكهربى عبر الغشاء العصبى، سعته حوالى ١٠٠ ملى فولت، ويستغرق ٠,٥ ـ ١ ملى ثانية. جهود الفعل أو الشوكات (يشار إليها أيضًا بالتفريغ الشوكى أو النشاط المتأجج) الوسيلة الأساسية لتوصيل سريع لمعلومات معينة بين الخلايا العصبية ومن الخلايا العصبية إلى العضلات (القسم ٢ ـ ٣).

- مبدأ النشاط Activity Principle : فرضية ترى أن هناك مجموعة أو أكثر من الخلايا العصبية تمثل بشكل صريح الصفات المختلفة لكل مُدرَك مباشر ـ رؤية الأحمر، شم طحلب رطب، مشاعر استهلال فعل (انظر التشفير الصريح؛ الشكل ٢، ٥).

- **التأثير اللاحق Aftereffect** : التعرض لوقت طويل لخاصية محفزة يحدث عيبا يستغرق وقتا قصيرا فى القدرة على تحديد تلك الخاصية (كما فى التأثير اللاحق المعتمد على التوجيه؛ القسم ٦، ٢). فى بعض الحالات، تُرَى الخاصية المضادة، كما فى التأثير اللاحق للحركة، حيث يرى المشاهِد حركة إلى أعلى بعد التعود على حركة إلى أسفل (تُعرَف أيضا بوهم الشلال؛ القسم ٨، ٣) أو فى اللون للصور اللاحقة. يُعتقَد أن التأثيرات اللاحقة تحدث نتيجة إعادة تحديد الخلايا العصبية المسئولة، أو تكيفها.

- **عدم القدرة على إدراك الحركة Akinetopsia** : عيب معين فى إدراك الحركة البصرية نتيجة لعيب فى اللحاء حول المنطقة الصدغية الوسطى (القسم ٨ـ٣).

- **لحاء المطوقة الأمامية Anterior Cingulate Cortex** : جزء من الأجزاء التنفيذية الأساسية فى الفص الجبهى، وقد يكون مفتاح الارتباطات العصبية للوعى (الصورة الأمامية؛ القسم ٧ ـ ١). ويتكون من المنطقة ٢٤، ٢٥، ٣٢، ٣٣ فى تقسيم برودمان Brodmann (الشكل ٧ ـ ١). يرصد لحاء المطوقة الأمامية السلوكيات المعقدة وينشط خاصة فى الخلافات المعرفية والأخطاء.

- **جهاز الاستثارة أو المرور Arousal or Gating System** : مجموعة من بنى الجزء العلوى من جذع الدماغ (التكوين الشبكى فى الدماغ المتوسط؛ الشكل ٥ ـ ١)، وتحت المهاد ووسط المهاد (النوى الصفائحية والنوى الشبكية) التى تتوسط حالات الاستثارة (اليقظة والنوم). يؤدى تلف هذه البنى على الجانبين إلى غيبوبة. جهاز الاستثارة الوظيفية شرط ضرورى لحدوث أى محتوى واعٍ. وارتباطاتها العصبية جزء من الشروط العصبية للتمكين (القسم ٥ ـ ١).

- **الانتباه Attention** : القدرة على التركيز على تنبيه معين أو حدث أو فكرة واستبعاد التنبيهات المنافسة. والانتباه الانتقائى ضرورى لمعظم أشكال الإدراك الواعى. ويمكن تمييز نوعين كبيرين من الانتباه الانتقائى. الانتباه من أعلى إلى أسفل والانتباه من أسفل إلى أعلى (الفصل التاسع).

ـ كشاف الانتباه Attentional Searchlight : انظر الانتباه من آعلى إلى أسفل.

ـ الوعى Awareness ؛ أستخدم هذا المصطلح بالتبادل مع مصطلح الوعى (انظر هوامش الفصل الأول).(٢)

ـ ظهر اللحاء Back of the Cortex: اختصار لكل مناطق اللحاء التى تقع خلف الثلم المركزى، وتشمل كل المناطق الحسية الخالصة (باستثناء الشم). وهذا التعريف مكمل لمقدم اللحاء.

ـ العقد القاعدية Basal Ganglia : مجموعة نوى المدفونة تحت لحاء المخ متورطة فى تنظيم الحركات الإرادية، التعليم الإجرائى والمتتابع، والسلوكيات ذات الصلة. تستقبل المعلومات الواردة من كل أنحاء اللحاء ونوى المهاد الصفائحية وتمتد بدورها، عن طريق المهاد، إلى الفصين الجبهيين (القسم ٧ ـ ٦). الكثير من أمراض التحلل العصبى، مثل مرض هنتنجتون Huntington ومرض باركنسون Parkinson، تهاجم الخلايا العصبية فى العقد القاعدية.

ـ مشكلة الربط Binding Problem : تعرف الكيفية التى تتحد بها خصائص متميزة لموضوع أو لعدة مواضيع فى العالم، ممثلة بالنشاط العصبى فى مواضع كثيرة موزعة، فى مُدْرَكات موحدة، تعرف بمشكلة الربط (القسم ٩ ـ ٤). على سبيل المثال، كيف يتحد لون سيارة فيرارى حمراء وحركتها وأصواتها، وهى تقترب بسرعة كبيرة، فى مدرَك واحد عند توزيع النشاط العصبى المسئول عبر مواضع لحائية كثيرة؟ وكيف يبقى هذا النشاط بعيدا عن التمثيل العصبى لموتوسيكل يُدرَك فى الوقت ذاته؟

ـ تباين العينين Binocular Disparity : الانفصال النسبى لصورة شىء فى العينين. ويمكن استخدام هذا التباين لاستنتاج المسافة بين هذا الموضوع والرأس، عمقه (القسم ٤-٤).

ـ الخلايا العصبية للعينين Binocular Neurons : يمكن دفع الخلايا العصبية البصرية بمُدْخَل من أى من العينين. توجد الخلايا العصبية للعينين فى اللحاء البصرى الأولي (القسم ٤-٤). لا تستجيب الخلايا العصبية للعين الواحدة إلا لمُدْخَلٍ من عين واحدة.

- تنافس العينين Binocular Rivalry : مثال لمحفز إدراك تسقط فيه صورة فى العين اليسرى وصورة مختلفة فى المواضع المناظرة فى العين اليمنى. لا يُرى هذين التنبيهين متراكبين، لكنهما يُدركان واحدًا بعد الآخر. وهذا يقدم توضيحا جليا لديناميكيات الكل للفائز فى الائتلافات، قامعة تماما المدرَك المنافس (الفصل ١٦).

- أوهام ثنائية الثبات Bistable Illusions : مُدْخَل حسى مستمر يمكن إدراكه بطريقتين متنافرتين بشكل متبادل. المثالان هما مكعب نيكر Necker (الشكل ١٦، ١)، وتنافس العينين. انظر محفزات الإدراك.

- عمى البصر Blindsight : سلوك حركى عصبى متبقٍّ دون خبرة بصرية. يعترف المرضى بأنهم غير مبصرين فى جزء من مجال الرؤية، لكنهم يستجيبون بشكل مناسب للمحفزات البسيطة. وهذا مجرد مثال للانفصال الانتقائى بين السلوك والوعى (القسم ١٣-٢).

- الإشارة الواضحة Bold Signal : انظر التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى fMRI.

- الانتباه من أسفل إلى أعلى Bottom-Up Attention : شكل سريع وتلقائى من الانتباه الانتقائى، يعتمد فقط على الخصائص الداخلية فى المُدْخَل (انتباه خارجى). يُعرَف فى المجال البصرى بالانتباه المعتمد على البروز. كلما زاد بروز الموضع أو الشىء فى الصورة ازداد احتمال ملاحظته (الجدول ٩ ـ١).

- جذع الدماغ Brainstem : قسم من الدماغ يشمل الدماغ الأوسط والجسر pons والنخاع medulla (اللوحة الأمامية).

- العلية Causation : يمكن أن يقال إن الحدث "أ" تسبب فى الحدث "ب" إذا (١) حدث "أ" قبل "ب"، (٢) منع حدوث "أ" يستبعد "ب". وهذا التعريف ينبغى أن يمتد بشكل مناسب إذا كان "أ" أو "ج" يسبب "ب". وإذا وضعنا فى الاعتبار الشبكات المتداخلة والغزيرة إلى حد كبير فى بيولوجيا الجزىء والخلية والأعصاب، لا يكون الانتقال من الارتباط إلى العلية سهلا.

- التنظيم حول المركز Center-Surround Organization : مجال استقبال خلية عصبية فى الشبكية، أى منطقة فى الفضاء البصرى تستطيع منها أن تستقبل

معلومات بصرية (بالبلدى، "ما يمكن أن تراه")، تشمل منطقة شبه دائرية فى المركز، محاطة بمنطقة تشبه الحلقة. شكل استجابتها مضاد لشكل استجابة المركز. على سبيل المثال، تنطلق الخلية النشطة بحيوية إذا سقطتْ بقعة من الضوء على منطقتها المركزية. ويُكبح تفريغُها حين تنبه حلقة من الضوء ما يحيط بها.

- **لحاء المخ Cerebral Cortex** : وكثيرا ما يسمى اللحاء ببساطة. لوحان كبيران مطويان من النسيج العصبى، سمكه بضعة مليمترات ومتنوع المساحات على قمة الدماغ. فى البشر، اللوح اللحائى الواحد فى حجم بيتزا كبيرة، حوالى ١٠٠٠ سنتيمتر مربع. واللحاء كثير الصفائح (انظر الوضع الصفائحى) ويُقسَّم إلى لحاء جديد ـ خاص بالثدييات ـ ومناطق أخرى، مثل لحاء الشم وقرن آمون (القسم ٤ ـ ٢).

- **عمى التغير Change Blindness** : عدم القدرة على ملاحظة تغيرات كبيرة فى الصور أو المَشاهد (الشكل ٩-١)، حتى لو كان الأشخاص يتمتعون بإدراك (وهمى) بأنهم يرون كل شىء فى لمح البصر.

- **النقل الكولينى Cholinergic Transmission** : انظر الاسيتايل كولين.

- **مجال الاستقبال الكلاسيكى Classical Receptive Field** : انظر مجال الاستقبال.

- **ائتلاف الخلايا العصبية Coalition of Neurons** : مجموعة من الخلايا العصبية المقترنة فى مقدم الدماغ، أحادية المشابك أو متعددة المشابك تشفر مُدْرَكًا أو حدثا أو مفهومًا واحدًا. تولد الائتلافات وتموت على مقياس زمنى يبلغ كسرًا من الثانية أو أكثر. يعزز أعضاء الائتلاف كل منها الآخر ويكبحون أعضاء الائتلافات المنافسة. يوجه الانتباه هذه التفاعلات المتنافسة. يلعب التأجج المتزامن والمذبذب دورا مهما فى تقوية ائتلاف على حساب الائتلافات الأخرى، بدعم تماسكه. لابد لكل مدرَك واعٍ من ائتلاف لخلايا عصبية يعبر صراحة عن الخصائص المدرَكة (القسم ٢ ـ ١).

- **التنظيم العمودى Columnar Organization** : خاصية تصميم عامة (تقريبا) للحاء حيث تشفر معظم الخلايا العصبية تحت رقعة من اللحاء، فى عمود

(يمتد عبر كل الطبقات)، خاصية مشتركة أو أكثر (التوجه الرأسى). توجد التنظيمات العمودية للتوجيه البصرى فى اللحاء البصرى الأولى (الشكل ٤-٤) ولتوجيه الحركة فى المنطقة الصدغية الوسطى (الشكل ٨-٣). وأرى فى القسم ٢ ـ ٢ أن الخاصية الممثلة فى هذا التصميم العمودى تتجلى هناك (انظر التشفير الصريح).

- الغيبوبة Coma : حالة معرفة إكلينيكيا لا يستطيع المريض أثناءها أن يستثار أو يظهر دليلا على إحساس واعٍ أو سلوك غير انعكاسى (القسم ٥-١). يمكن أن تتحول حالة الغيبوبة، فى بضعة أسابيع، إلى حالة خمود مع استثارة دورية (على سبيل المثال، فتح العين باحتراس بالتبادل مع غلق العين) لكن لا يوجد دليل على الشعور. إذا بقيت هذه الأعراض على حالها أكثر من شهر، يعتبر المريض فى حالة خمود مستمر.
- الوعى Consciousness : موضوع الكتاب. من الصعب تعريفه بدقة فى هذه اللحظة المبكرة فى الاستكشاف العلمى لهذه الظاهرة. يتطلب الوعى عادة شكلا من الانتباه الانتقائى وتخزين قصير المدى للمعلومات. لأسباب استراتيجية، أركِّزُ على حالات الدماغ الكافية للإدراك الحسى الواعى، والارتباطات العصبية للوعى، وأتجنب اتخاذ أى وضع أيديولوجى خاص فى المناظرة المهتمة بالعلاقة الدقيقة بين الارتباطات العصبية للوعى والخبرة الواعية.
- مقياس الوعى Consciousness-Ometer : أداة يمكن بها قياس حالة وعى البشر أو الحيوانات (أو غيابه). لا توجد طريقة صالحة لهذا الأمر اليوم. ويعتبرها كثير من الفلاسفة فكرة حمقاء. البديل مجموعة اختبارات، تشمل اختبار التأجيل، تحدد السلوكيات التى تتطلب وعيًا.
- محتوى الوعى Content of Consciousness : يشكل مُدْرَك، أو ذاكرة، واعٍ محدد فى أى وقت تيار الوعى (كما فى رؤية "تفاحة حمراء"). بعض الارتباطات العصبية للوعى كافية لأى محتوى (القسم ٥ ـ ١).
- الجانب المقابل Contralateral : مصطلح شائع فى علم الأعصاب يعنى على الجانب المضاد؛ كما فى "اللحاء البصرى الأولي الأيسر يستقبل معلومات من

المجال الأيمن (الجانب المقابل) للمشهد." وتعنى كلمة ipsilateral الجانب نفسه (القسم ٤-٤).

- لب المهاد Core of the Thalamus : فئة من فئتين كبيرتين لخلايا ترحيل مهادية (انظر المنشأ). تنقل الخلايا العصبية فى اللب معلومات معينة إلى طبقات المُدْخَل لمنطقتها اللحائية المستهدفة (القسم ٧ ـ ٣).

- الجسم الجاسئ Corpus Callosum : حوالى مائتى مليون من الألياف تربط نصفى اللحاء. وهذه الألياف تُقطَع فى مرضى الدماغ المنشطر، مما يخلق عقلين واعيين فى جمجمة واحدة (الشكل ١٧-١).

- التأجج المترابط Correlated Firing : يرتبط المدى الزمنى الذى تُولَّد فيه جهود الفعل فى خلية عصبية بحدوث جهود الفعل فى خلية عصبية أخرى. إذا تُبِعت الشوكات فى خلية واحدة عادة، بعد وقت ثابت، بشوكات فى خلية ثانية، أو إذا حدثت الشوكات فى الخلية الأولى متزامنة مع شوكات الخلية الثانية، يترابط تأججها بدرجة كبيرة (الشكل ٢-٧). انظر أيضًا التزامن.

- التدرج الهرمى للمعالجة اللحائية Cortical Processing Hierarchy : انظر التدرج الهرمى.

- الطبقتان العميقتان Deep Layers : الطبقتان الخامسة والسادسة من اللحاء الجديد (القسم ٤ ـ ٢ واللوحة الأخيرة). وتسميان أيضًا الطبقتان السفليان. تمتد الخلايا العصبية الهرمية التى توجد أجسام خلاياها هنا خارج اللحاء، إلى المهاد، حتى الحدبة التوأمية العليا والأهداف التى بعدها (على سبيل المثال، إلى الحبل الشوكى).

- اختبار التأجيل Delay Test : طريقة إجرائية، بتدريب الكائن على تعزيز التوانى بين التنبيه والاستجابة الحركية، لاختبار وجود السلوك الواعى فى الحيوانات أو الأطفال الصغار أو المرضى الذين لا يتكلمون (القسم ١١ ـ ٢ والقسم ١٣ ـ ٦). انظر أيضًا مقياس الوعى.

- عمق الحساب Depth of Computation : انظر العمق المنطقى للحساب.

- التباين Disparity : انظر تباين العينين.

- المسار الظهرى Dorsal Pathway : تيار تشريحى هائل ينشأ فى اللحاء البصرى الأولي ويمتد فى المنطقة الصدغية الوسطى إلى مناطق فى اللحاء الجدارى الخلفى. ومن هناك، يرسل محاور عصبية إلى الجزء الخلفى الجانبى من مقدم اللحاء الجبهى. ويعرف أيضًا باسم الرؤية للفعل أو مسار أين (الشكل ٧-٢).

- الحلم Dreaming : هلاوس جلية وواعية تبدو واقعية كالحياة نفسها. تحدث أساسا أثناء نوم الحركة السريعة للعينين.

- الارتباطات الدافعة Driving Connection: انظر الارتباطات القوية.

- المشكلة السهلة Easy Problem : مصطلح يستخدمه بعض الفلاسفة لوصف مشروع هذا الكتاب؛ لاكتشاف الأساس العصبى، والمادى عموما، للوعى وتمييزه. بقدر ما يكون للوعى وظيفة أو أكثر، تُفهَم أسبابه الميكانيكية على مستوى التصور والمعرفة (حتى لو كان صعبا من المنظور العلمى والعملى). لكن حل "المشكلة السهلة" من هذا المنظور لن يفسر سر الخبرة الذاتية. وهذه هى المشكلة الصعبة. أظن أن "المشكلة الصعبة"، مثل الأسئلة الأخرى التى شغلت الفلاسفة فى الماضى (على سبيل المثال، كيف يرى البشر العالم منتصبا والصورة مقلوبة فى الشبكية) تختفى بمجرد فهم "المشكلة السهلة".

- الانحراف عن المركز Eccentricity : انظر الانحراف البصرى عن المركز.

- قطب كهربى Electrode : موصل كهربائى، كثيرا ما يكون ببساطة سلكا معزولا تماما إلا من رأسه، يقترن بمكبر، لتسجيل تغيرات فى الجهد الكهربى داخل الخلايا العصبية أو خارجها و/ أو لتنبيه الخلايا العصبية مباشرة. يُستخلَص عادة نوعان من الإشارات الكهربية من التسجيلات خارج الخلية: مجموعات متتابعة من جهود الفعل من خلية أو أكثر من الخلايا القريبة، وجهد المجال الموضعى، النشاط الكهربى المجمع من آلاف الخلايا بجوار القطب الكهربى. يمكن لمجموعات من الأقطاب الكهربية التقاط النشاط الشوكى المتزامن لمائة خلية عصبية. تأخذ تسجيلات الأقطاب الكهربية عينة من نشاط الخلايا العصبية الفردية بتمييز زمنى مرتفع جدا (أجزاء من ملى ثانية). ويتمثل

قصورها الرئيسى فى نقص التغطية ـ يُلتقَط جزء ضئيل جدا من كل الخلايا العصبية فى أية منطقة ـ والطبيعة المجهولة للتسجيل.

- **رسم المخ الكهربائى** Electroencephalogram (EEG) : تسجيل غير اقتحامى للجهد الكهربى للدماغ بتوصيل عدة أقطاب بقمة الرأس. يظهر نشاط تذبذبى فى حزم متنوعة التردد (ثيتا، ألفا، بيتا، جاما، إلخ؛ القسم ٢ ـ٣) بمثابة مؤشر تقريبى لحالات معرفية محددة ووسيلة تشخيصية. يحد، بشدة، الوضوح الزمنى المرتفع (ملى ثانية) لرسم المخ الكهربائى مع ضعف التحديد الفضائى (سنتيمتر) من قدرته على تحديد مجموعات متميزة من الخلايا العصبية.
- **عوامل التمكين** Enabling Factors : الآليات البيولوجية التى يجب أن تكون فى موضع لتكون شعورية تماما (على سبيل المثال النقل الكولينى Cholinergic والجلوتامينى Glutamergic عن المشابك، وكمية كافية من الدماء). وهذه هى الشروط العصبية للتمكين (NCCe (القسم ٥ ـ١).
- **التفاعل الإفبسى** Ephaptic Interaction : تفاعل كهربى بين عمليات عصبية متجاورة بالجهد خارج الخلية وليس بمشابك كيميائية أو كهربية معينة. وتحد الفيزياء الحيوية للخلايا العصبية بشدة من سعة هذه التفاعلات وخصوصيتها. ربما لا يلعب الجهد خارج الخلية إلا دورا ضئيلا فى العمليات المؤسِّسة للوعى (القسم ٢ ـ ٣).
- **العقدة الأساسية** Essential Node : منطقة لحائية يؤدى تدميرها إلى فقدان خاصية شعورية معينة، مثل رؤية لون أو حركة. يرى سمير زكى أن الارتباطات العصبية للوعى بهذه الخاصية لابد أن توجد فى عقدة أساسية (القسم ٢ـ٢).
- **الجهد المستثار** Evoked Potential : تغيرات فى الجهد الكهربى على سطح فروة الرأس بعد تقديم صورة (الجهد البصرى المستثار)، أو صوت (الجهد السمعى المستثار)، أو حدث معرفى داخلى (على سبيل المثال، الوقوع فى خطأ عند تأدية مهمة معينة: الجهد المرتبط بحدث). ونحصل على الجهد المستثار بحساب معدل رسم المخ الكهربى فى أكثر من مائة محاولة (القسم ٢ ـ ٣).

- **فرضية الملخص التنفيذى** Executive Summary Hypothesis : افتراضى أن من الوظائف الأساسية للارتباطات العصبية للوعى تلخيص الوضع الحالى فى العالم وإتاحة هذا الملخص الموجز لمراحل التخطيط فى الدماغ (مماثل إلى حد ما للملخص المطلوب لاتخاذ قرار فى موضوع معقّد تحت ضغط الوقت). وهذا عكس الكثير من العوامل الحسية الحركية أو الزومبيات التى لا تحتاج إلى مثل هذا الملخص، حيث لا تتعامل إلا مع مجالات محدودة جدا للمُدْخَل والنتاج (القسم ١٤ ـ ١).
- **التشفير الصريح أو التمثيل الصريح** Explicit Coding or Explicit Representation تمثيل يجعل استنتاج الخاصية المشفرة ـ التوجيه، أو اللون، أو هوية الوجه ـ سهلا (انظر هامش فى القسم ٢-٢). للتشفير الصريح عمق منطقى للحساب أكبر مقارنة بالتشفير الضمنى للمعلومات ذاتها (القسم ٢ ـ ٢). يمكن لمجموعة خلايا عصبية تمثيل خاصية واحدة بطريقة صريحة وأخرى بطريقة ضمنية (على سبيل المثال تشفر خلايا اللحاء البصرى الأولي التوجيه بطريقة جلية وتشفر هوية الوجه بطريقة ضمنية). أرى فى القسم ٢ ـ ٢ وفى ثنايا الكتاب أن التمثيل الصريح شرط ضرورى، لكنه ليس كافيا، للارتباطات العصبية للوعى. انظر أيضًا مبدأ النشاط.
- **الانطفاء** Extinction : انظر الإهمال.
- **اللحاء خارج المنطقة المخططة** Extrastriate Cortex : مجموعة من مناطق اللحاء تحيط باللحاء البصرى الأولي فى الفص القذالى، فى مؤخر الدماغ، تسهل الرؤية (الشكل ٨ ـ ١).
- **مغالطة القزم** Fallacy of the Homunculus : وهم مفروض يمثل، فى مركز عقلى، الأنا الواعية التى توجه وتتطلع إلى العالم وتستهل كل الأفعال. وأفترض فى القسم ١٨ ـ ٢ أن هذا الوهم ينعكس فى تشريح الأعصاب للارتباطات بين مقدم اللحاء وظهره. انظر أيضًا القزم غير الواعى.
- **مسارات التغذية الرجعية** Feedback Pathways : توجد مستويات مرتفعة ومنخفضة للتنظيم التشريحى لمقدم الدماغ (انظر التدرج الهرمى). تتكون مسارات التغذية الرجعية (يسميها جيرالد إدلمان الداخلة من جديد) من محاور

الخلايا الهرمية التى تنشأ فى مستوى أعلى ولها ارتباطات مشبكية فى مستوى منخفض أو أكثر (على سبيل المثال، من المنطقة الصدغية الوسطى إلى اللحاء البصرى الأولي أو من اللحاء البصرى الأولي إلى النواة الركبية الجانبية). وأرى أن الإدراك الواعى لا يحدث إذا أعيقت مسارات التغذية الرجعية من مقدم الدماغ إلى ظهره (القسم ١٣ ـ ٥ ونهاية القسم ١٥ ـ ٣).

- **نظريات مجال الوعى** Field Theories of Consciousness : تفترض هذه النظريات وجود مجال بمثابة حامل فيزيائى للأحاسيس الشعورية. ولا أتعاطف مع هذه النظريات، حيث إن المجال الكهربى المغناطيسى فى الدماغ بالغ الضآلة وغير محدد بدرجة تجعله لا يستطيع نقل محتوى معين للوعى (انظر أيضًا التفاعل الإفيسى والقسم ٢ ـ ٣).

- **الإحلال** Filling-In : مجموعة عمليات تُستنتَج بواسطتها خاصية غير موجودة من سياقها الفورى (فى المكان أو الزمان)، كما فى البقعة العمياء (هامش ٦ فى القسم ٢ ـ ١؛ والقسم ٢ ـ ٣). ويمكن أن يكون هذا مضللا أحيانا.

- **شفرة معدل التأجج** Firing Rate Code : فرضية بأن كل المعلومات التى تحملها خلية عصبية محتواة فى عدد (متوسط) من الشوكات التى تنطلق فى فترة مناسبة (خلال ١٠٠ ملى ثانية أو أكثر؛ القسم ٢ ـ ٣).

- **منظور الشخص الأول** First-Person Perspective : الرأى الفريد لشخص واعٍ، يجرب الأحداث التى تدور فى العالم ويدركها. اللغز الذى أطرحه هو كيف يتواءم منظور الشخص الأول مع منظور الشخص الثالث ويمكن أن يفسره. يقبل بعض الفلاسفة أن الناس يدعون أن لهم خبراتهم، وينكرون واقع الحالات الذاتية (القسم ١ ـ ٢).

- **الذاكرة العابرة** Fleeting Memory : انظر الذاكرة الأيقونية.

- **مقدم الدماغ** Forebrain : قسم من الدماغ يشمل اللحاء والعقد القاعدية واللوزة والبصلة الشمية والمهاد (انظر الصورة الأمامية). تتوسط خلايا مقدم الدماغ محتوى الوعى الخاص. لا يجب الخلط بين مقدم الدماغ ومقدم اللحاء.

ـ **الأطـر Frames** : انظر لحظات الإدراك.

ـ **مقدم اللحاء Front of the Cortex** : اختصار لكل مناطق اللحاء التى تقع أمام الثلم المركزى، وتشمل اللحاء الحركى وقبل الحركى ومقدم الفص الجبهى والمطوقة الأمامية (الفص الجبهى فى الصورة الأمامية). ويشمل مناطق اللحاء التى تستقبل المعلومات المهمة، عن طريق المهاد، من العقد القاعدية. ويجب عدم الخلط بينها وبين مقدَّم الدماغ Forebrain.

ـ **التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى Functional Magnetic Resonance Imaging** أو fMRI: طريقة لتسجيل إشارات الدماغ فى الأشخاص الواعين بأسلوب غير اقتحامى وآمن وملائم على أساس الرنين المغناطيسى النووى. وأكثر التقنيات المستخدمة شيوعا هى التصوير بالصبغة ويعتمد على مستوى الأكسجين فى الدم، الذى يقيس التغيرات الموضعية فى حجم الدم وتدفق الدم استجابة للاحتياج الأيضى نتيجة النشاط المشبكى والشوكى. يعتمد التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى على حقيقة أن الدم غير المؤكسج له خصائص مغناطيسية مختلفة إلى حد ما عن خصائص الدم المؤكسج. لا يسجل التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى بشكل مباشر الأحداث المشبكية والشوكية السريعة (ملى ثانية) بل إشارات بديلة ناتجة عن تدفق الدم، فى مدة زمنية ضئيلة جدا فى حدود الثانية مع وضوح فى حدود مليمتر (انظر أيضا هامش ٤ فى القسم ٨-١).

ـ **التفليفة المغزلية Fusiform Gyrus** : تقع التلفيفة المغزلية على السطح السفلى للحاء، وتمتد من الفص القذالى إلى الفص الصدغى (انظر اللحاء الصدغى السفلى، والصورة الأمامية، والقسم ٨ ـ ٥).

ـ **جابا GABA** : الشكل الأساسى من الكف المشبكى السريع فى مقدم الدماغ يتم بإفراز الناقل العصبى جاما الحمض الزيدى الأمينى y-amino-butyric acid من النهايات قبل المشبكية.

ـ **تذبذبات جاما Gamma Oscillation** : انظر تذبذبات.

ـ **الجوهر Gist** : وصف ضئيل جدا مرتفع المستوى لمشهد بصرى. مما يفرض

عمى التغيير تمامًا: كثيرًا ما تُفتقَد التغيرات الكبرى فى المشهد تماما لأن جوهرها يبقى على حاله (القسم ٩-٢).

- جلوتاميت Glutamate : يعتمد الشكل الأساسى للإثارة المشبكية السريعة فى مقدم الدماغ على الناقل العصبى جلوتاميت. يمكن أن يعمل الجلوتاميت فى مستقبلات بعد مشبكية متنوعة. يعمل أحد الأشكال خلال بضع ملى ثانية؛ تستخدم معظم الحركة المشبكية العادية بين خلايا مقدم الدماغ هذا النوع من مستقبلات الجلوتاميت. ثمة نوع آخر يشمل مستقبلات ن-ميثايل-د-أسبرتيت N-methyl-D-aspartate (نمدا NMDA)، التى تعمل وتتوقف بشكل أكثر بطأ (٥٠ ـ ١٠٠ ملى ثانية). مستقبلات نمدا مهمة لإحداث المرونة المشبكية (انظر القسم ٥ ـ ١ والقسم ٥ ـ ٢).

- المشكلة الصعبة Hard Problem : مصطلح أشاعه الفيلسوف ديفيد تشالمرز للتعبير عن الصعوبة التصورية الخطيرة لتقديم تفسير مقبول ومختزل لكيفية نشأة الأحاسيس الظاهرة من جهاز فيزيائى (القسم ١٤ ـ ٤). لماذا تصاحب بعض أنشطة الدماغ المشاعر الذاتية، الكوليا Qualia ؟ من هذا المنظور، يشكل اكتشاف الارتباطات المادية للوعى فى الدماغ وتمييزها، البحث المكرس له هذا الكتاب، المشكلة السهلة.

- العمى النصفى Hemianopia : العمى الكامل أو فقدان الإدراك البصرى فى نصف مجال الرؤية، ويحدث نتيجة تلف فى المسار من النواة الركبية الجانبية إلى اللحاء البصرى الأولي أو ضد التيار من هناك.

- نشاط تدفق الدم Hemodynamic Activity : يستخدم الإفراز المشبكى، وتوليد جهود الفعل وانتشارها، والعمليات العصبية الأخرى، الطاقة الأيضية. تتطلب الزيادة فى الاحتياج الأيضى، الناشئة عن النشاط العصبى، انتقالا سريعًا للأكسجين عن طريق نوى الهيموجلوبين المنتقل فى تيار الدم. ويتم هذا بتغيرات فى حجم الدماء وتدفقها ـ نشاط تدفق للدم ـ ويمكن التقاط هذه التغيرات بتقنيات تصوير الدماغ. وتشمل التصوير البصرى (الجوهرى)، والتصوير المقطعى بانبعاث البوزيترون (PET)، والتصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى. ويقع وضوحها المكانى الزمنى فى مجال أجزاء من المليمتر ـ ثانية.

- التدرج الهرمى Hierarchy : على أساس المعايير التشريحية، يمكن ترتيب مناطق المعالجة، التى تبلغ الثلاثين أو أكثر، فى الدماغ البصرى فى تدرج هرمى (الصورة الأمامية). تستقبل منطقة معينة المُدْخَل المتجه إلى الأمام من منطقة فى مستوى أقل وترسل، بدورها، امتدادا إلى الأمام إلى منطقة فى مستوى أعلى أو ارتباط جانبى إلى منطقة فى المستوى ذاته من التدرج الهرمى. تنقل مسارات التغذية الرجعية المعلومات من مناطق عالية إلى مناطق منخفضة. وهذا التدرج الهرمى ليس دقيقا أو فريدا. بينما تم تسجيل تنظيمات هرمية مماثلة للمناطق الحسية الجسدية والمناطق السمعية، فمن غير الواضح إلى أى مدى يمكن ترتيب مناطق فى مقدم اللحاء بهذه الطريقة.

- القزم Homunculus : الشخص ضئيل الرأس. انظر **مغالطة القزم**.

- الذاكرة الأيقونية Iconic Memory : شكل من الذاكرة البصرية، عالى القدرة، سريع التحلل (خلال ثانية أو نحو ذلك). ويوجد أيضًا فى حواس أخرى. أسميها كلها الذاكرة سريعة الزوال وأراها ضرورية للوعى الإدراكى (القسم ١١ - ٤).

- التشفير الضمنى أو التمثيل الضمنى Implicit Coding or Implicit Representation : عكس التشفير الصريح.

- عمى عدم الانتباه Inattentional Blindness : توضيحات جسدية نفسية قهرية بأن التنبيهات غير المتوقعة، حتى حين ينظر إليها المرء مباشرة، ربما لا تُرَى (القسم ٩ - ١ وهامش ٩ فى القسم نفسه). يؤكد العمى غير المتعمد الدور الحاسم للتوقع فى الإدراك.

- اللحاء الصدغى السفلى Inferior Temporal Cortex (IT) : فى القرد، المنطقة اللحائية التى تبدأ من واجهة المنطقة البصرية الرابعة بالضبط وتستمر تقريبا حتى القطب الصدغى. وتشمل الجزء الظهرى والباطنى من PIT، CIT، AIT (انظر اللوحة الأمامية والشكل ٧ - ٢). وتناظرها فى الإنسان مناطق أمام اللحاء القذالى الصدغى، على طول السطح البطنى للفص الصدغى (اللفيفة المغزلية). وهذا الشق من اللحاء الجديد للإدراك البصرى الشعورى (القسم ٨ - ٥).

- نظرية المستوى المتوسط للوعى Intermediate-Level Theory of Consciousness : فرضية رى جاكندوف وآخرين، بأن الوعى ليس له مداخل إلا للمستويات المتوسطة من التمثيل. لا يمكن الوصول إلى التمثيل الحسى البدائى أو المستويات العليا، التمثيل التصورى الذى يقف وراء الكثير من العمليات المعرفية. ومن النتائج المدهشة أن التفكير غير شعورى. للشعورى تمثيل فى صور وكلام صامت وخصائص حسية أخرى.

- نوى المهاد الصفائحية Intralaminar Nuclei of the Thalamus (ILN) مجموعة نوى صغيرة تنتشر فى المهاد. تقدم نتاجًا قويا للعقد القاعدية ونتاجًا أكثر انتشارا لمعظم اللحاء. يؤدى تدميرها على الجانبين إلى فقدان الاستثارة، وإلى حالة الخمود إذا كان كاملا بما يكفى. جزء من الشروط العصبية للتمكين NCCe (القسم ٥-١).

- الجانب نفسه Ipsilateral : انظر الجانب المقابل.

- وضع الصفائح Laminar Position : طبقة من اللحاء تضم جسم الخلية العصبية. وضع الصفائح محددٌ مهم لشكل الخلية والمُدْخَل والنتاج ودورها الوظيفى (الشكل ٤ ـ ١ والصورة الخلفية).

- النواة الرُكبية الجانبية Lateral Geniculate Nucleus (LGN) : ترسل معظم الخلايا العقدية فى الشبكية محاورها، مكونة العصب البصرى، إلى النواة الركبية الجانبية المكونة من ست طبقات، وهى واحدة من نوى مهادية كثيرة. تمتد خلايا الركبية، بدورها، إلى اللحاء البصرى الأولي. مثل كل النوى المهادية، تستقبل النواة الركبية الجانبية تغذية رجعية هائلة من اللحاء وظيفتها غير معروفة (الشكل ٣ ـ ٦ والشكل ٧ ـ ٢).

- LGN : انظر النواة الركبية الجانبية.

- جهد المجال الموضعى Local Field Potential (LFP) : الجهد الكهربى المسجل فى النسيج العصبى من قمة قطب كهربى. تساهم العمليات العصبية فى ١مم أو نحو ذلك فى جهد المجال الموضعى (القسم ٢ ـ ٣).

- العمق المنطقى للحساب Logical Depth of Computation : مقياس لعدة خطوات ضرورية لعملية حساب. العمق المنطقى لخلية عقدية شبكية، مشيرا

إلى حدوث بقعة من الضوء، أقل بكثير من العمق المنطقى لخلية فى اللحاء الصدغى السفلى، ممثلة لوجه. كلما كان العمق المنطقى للنتاج من خلية عصبية أقل، زادت عمليات حساب الدوائر بعد المشبكية التى عليها استنباط المعلومات المناسبة (القسم ٢-٢)

- الذاكرة طويلة المدى Long-Term Memory : مجموعة عمليات تحفظ المعلومات على مدار الأيام والشهور والسنوات. تشمل الذكريات طويلة المدى المهارات الحركية الحسية الضمنية كما تشمل الذكريات الصريحة لتفاصيل السيرة الحياتية والحقائق (القسم ١١ - ٢).

- الطبقات السفلى Lower Layers : انظر الطبقات العميقة.

- التقنع Masking: حين يستبعد محفزٌ المدرَكَ المرتبط بمحفز قريب (مكانيا و/ أو زمنيا)، يقال إنه يقنِّعه. وتقنع المحفزات البصرية أو السمعية فن معقد (القسم ١٥ - ٢).

- منشا المهاد Matrix of the Thalamus : فئة من فئتين كبيرتين من الخلايا الترحيل فى المهاد (انظر أيضا لب المهاد). وتمتد خلايا المنشأ على نطاق واسع إلى الطبقات السطحية من اللحاء (القسم ٧ - ٣).

- المعنى Meaning : تعنى الحالات الشعورية شيئا ما، إنها عن شيء ما، وتتأسس فى الماضى وفى الخطط المستقبلية وفى الارتباطات المرتبطة بها. أرى فى القسم ١٤-٥ أن المعنى لابد أن يُضرَب له مثال بالارتباطات المشبكية الهائلة بين العقد والخلايا العصبية الضرورية المناسبة، إطار أى مُدرَك شعورى.

- الفص الصدغى المتوسط Medial Temporal Lobe (MTL) : بنية من مقدم الدماغ متورطة فى تكوين الذاكرة الشعورية ومعالجة الانفعالات. ويشمل قَرن آمون واللحاء الأنفى الداخلى (المنطقة ٢٨ فى تقسيم برودمان)، واللحاء حول الأنفى (المنطقة ٣٥ والمنطقة ٣٦ فى تقسيم برودمان)، واللحاء حول قرن آمون (المنطقة ٢٧ فى تقسيم برودمان)، واللوزة (انظر الصورة الأمامية، والشكل ٧ - ١، والمستويات العليا من الشكل ٧ - ٢). لا يجب الخلط بينه وبين لحاء المنطقة الصدغية الوسطى.

- الذاكرة Memory: مجموعة عمليات نفسية مميزة تعمل بصور مختلفة، وآليات فسيولوجية للحفاظ على المعلومات عبر الزمن. وتشمل الفئات المهمة الذاكرة طويلة المدى، والذاكرة قصيرة المدى أو الفورية، والذاكرة الأيقونية أو سريعة الزوال (الفصل ١١).

- وعى مجهرى Microconsciousness : مصطلح أدخله سمير زكى ليشير إلى الصفات الفردية لأى مُدْرَك، وما يرتبط به من الارتباطات العصبية للوعى. ربما يُدرَك الوعى الدقيق لحركة موضوع فى وقت مختلف بشكل ضئيل عن الوعى المجهرى بلونه. مما قد يجعل دعم فكرة وحدة الوعى صعبا (القسم ٥ ـ ٤ والقسم ١٥ ـ ٢).

- قطب كهربى مجهرى Microelectrode : انظر قطب كهربى.

- محفز مجهرى Microstimulation : محفز كهربى مباشر بقطب كهربى يغرس فى منطقة مناسبة فى الدماغ. فى اللحاء، يمكن أن يستثير هذا مدارك بدائية، أو مدارك معقدة وأفعال حركية أحيانًا (القسم ٨ ـ٣).

- المنطقة الصدغية الوسطى Middle Temporal Area (MT) : جزء لحَائى صغير متورط فى إدراك الحركة. ويسمى أيضا المنطقة البصرية الخامسة V5 (الشكل ٧ ـ ٢ والشكل ٨ ـ ١). لا يجب الخلط بينه وبين الفص الصدغى المتوسط.

- مشكلة العقل والجسد Mind-Body Problem : مجموعة مشاكل مرتبطة بالوعى. أتناول المسائل التالية التى تميز بحثى (القسم ١ ـ ١): لفهم كيف ولماذا يرتبط إحساس واعٍ معين بإحساس وليس بآخر، أو بحالة لا وعى؛ لماذا تبنى الأحاسيس بهذه الطريقة، وكيف تكتسب معنى، ولماذا هى خاصة؛ وأخيرًا، كيف ولماذا تحدث سلوكيات كثيرة مستقلة عن الوعى (انظر العوامل الزومبية).

- الارتباطات المعدلة Modulatory Connections : محاور عصبية من المهاد أو من منطقة لحائية تنتهى فى الطبقات السطحية من اللحاء أو فى التفرعات الشجرية فى خلايا المهاد. لا تستطيع الارتباطات المعدلة، فى ذاتها، تأجيج الخلايا العصبية المستهدفة بقوة عادة، لكن يمكنها تعديل التأجج الناتج عن

الارتباطات الدافعة. ربما تكون مسارات التغذية الرجعية معدّلة. ومن غير الواضح إن كان من الممكن تطبيق هذا التمييز على مقدم اللحاء.

- **القرود** Monkeys : مثل القردة العليا apes والبشر، رئيسات (انظر هامش فى القسم ١ ـ ٢). القرود الآسيوية ليست معرضة للخطر، ويمكن تربيتها بسهولها وتدريبها فى الأسْر. ورغم أن دماغ القرد أصغر بكثير من دماغ شخص فإن تنظيمه عموما ومعالجته للعناصر مماثلة تماما، مما يجعله النموذج الأكثر شيوعًا لاستكشاف الأسس العصبية للإدراك والمعرفة (القسم ٤ ـ ١).

- **التصوير بالرنين المغناطيسى** MRI : انظر التصوير الوظيفى بالرنين المغناطيسى.

- **ملى ثانية** Msec: millisecond . جزء من ألف من الثانية. يحدث إدخال المعلومات الشبكية المثيرة السريعة وإطلاقها جهد فعل خلال ١ ملى ثانية.

- **المنطقة الصدغية الوسطى** MT : انظر.

- **ميكرومتر** Micrometer um . جزء من مليون من المتر أو جزء من ألف من المليمتر. امتداد المشبك اللحائى حوالى 05_ ميكرومتر.

- **NCC** : انظر الارتباطات العصبية للوعى.

- **الشروط العصبية للتمكين** NCCe : الشروط العصبية التى تمكن من حدوث أى وعى (انظر القسم ٥ ـ ١).

- **الإهمال** Neglect : متلازمة عصبية ـ تشمل غالبا تلف اللحاء الجدارى الخلفى ـ فيها لا يستجيب المرضى للمعلومات فى مجال الرؤية المتأثر. لكن مساراتهم البصرية البدائية، بما فى ذلك الشبكية واللحاء البصرى الأولي، سليمة. وتعرف هذه المتلازمة بشكل أدق بإهمال نصف المجال البصرى. فى متلازمة الانطفاء، المرتبطة بها، يرى المريض موضوعا منعزلا فى المجال المتأثر، لكنه لا يستطيع أن يراه إذا قُدِّم مع تنبيه متزامن فى نصف المجال المقابل غير المتأثر (القسم ١٠ ـ ٢).

- **اللحاء الجديد** Neocortex :انظر لحاء المخ.

- الموجة الشبكية Net-Wave : موجة أمام النشاط الشوكى، يطلقها مُدخَل حسى، تنتشر بسرعة وبطريقة متوقعة، بقفزات وارتدادات، من الطرف الحسى خلال مراحل متنوعة من التدرج الهرمى للمعالجة اللحائية.

- الارتباطات العصبية للوعى neuronal correlates of consciousness، أو NCC : أصغر مجموعة من آليات الدماغ والأحداث ترتبط بشكل كافٍ بإدراك، أو خبرة، شعورى معين (الشكل ١ ـ ١ والفصل الخامس). وهى موضوع هذا الكتاب.

- مستقبل نمدا NMDA Receptor : انظر جلوتاميت Glutamate.

- مجال الاستقبال غير الكلاسيكى Nonclassical Receptive Field : انظر مجال الاستقبال.

- غير شعورى Nonconscious : عمليات أو حسابات لا ترتبط مباشرة بالمشاعر أو الأحاسيس أو الذكريات الشعورية. والإدراك دون وعى subliminal مثال للمعالجة غير الشعورية.

- قزم غير واع Nonconscious Homunculus : فرضية (القسم ١٨ ـ ٢) طبقا لها تواجه شبكاتُ مقدم اللحاء ظهرَ اللحاء، وتستخدم هذه المعلومات الحسية المعالَجة للتخطيط واتخاذ القرار وتزويد المراحل العصبية ذات الصلة بها. ولا يساهم معظم هذا النشاط العصبى فى محتوى الوعى. وتعمل هذه الشبكات مثل قزم غير واع.

- نواة Nucleus (الجمع نو Nuclei) : مجموعة ثلاثية الأبعاد من خلايا عصبية بهوية سائدة كيميائية عصبية و/ أو تشريحية عصبية (على سبيل المثال، تستخدم الناقل العصبى ذاته أو تمتد كلها إلى مكان مشترك).

- مجال التدفق البصرى Optical Flow Field : مجال متجه ذو بعدين على الشبكيتين ينتج عن تغير قوة الصورة. ويحدث هذا أثناء حركة العين أو الرأس أو حين يتحرك الموضوع الخارجى.

- تذبذبات Oscillation : نوبات شبه منتظمة فى النشاط الدورى فى رسم المخ الكهربائى، أو الجهد المستثار، أو جهد المجال الموضعى فى حزم متنوعة من

التردد (تعرف فى العامية بموجات الدماغ). يمكن أيضًا التقاط تفريغ الشوكات الدورية بأقطاب كهربية دقيقة، لكن بصعوبة أكبر. ومما يجب ملاحظته بشكل خاص التذبذبات فى المجال من ٣٠ ـ ٧٠ هرتز Hz، وتسمى عادة ٤٠ هرتز أو موجات جاما (على سبيل المثال الشكل ٢ ـ ٦ والشكل ٢ ـ ٧). وربما ترتبط وظيفتها بالانتباه.

ـ إطار Penumbra: مصطلح أدخلْتُه للإشارة إلى المعالجات العصبية التى تستقدم معلومات مشبكية من الارتباطات العصبية للوعى، دون أن تكون هى ذاتها جزءا منها (القسم ١٤ ـ ٥). يشمل الإطار الركيزة العصبية للارتباطات السابقة، والنتائج المتوقعة والخلفية المعرفية للمُدْرَك الشعورى. يقدم الإطار المعنى، موضوع المُدْرَك. وتأتى الكوليا لترمز لكل هذه المعلومات الهائلة، الصريحة أو الضمنية، المحتواة فى الإطار.

ـ لحظات الإدراك Perceptual Moments : فرضية تفترض أن الإدراك يحدث فى سلسلة معالجات متميزة، ما أسميه أطر اللقطات. يتكون تيار الوعى من سلسلة لا نهائية من هذه الأطر، بشكل لا يختلف عن فيلم. تُدرَك الصفات داخل إطار، بما فى ذلك إدراك الحركة، باعتبارها متصلة. وتعكس الارتباطات العصبية للوعى الآليات شبه الدورية. ويختلف تمامًا زمن هذه السلاسل، من ٢٠ إلى ٢٠٠ ملى ثانية.

ـ محفزات الإدراك Perceptual Stimuli : يمكن إدراك مُدْخَل حسى، مثل صورة، بشكل واعٍ بطريقتين أو أكثر. وتشمل الأمثلة الأوهام ثنائية الثبات، مثل مكعب نيكر (الشكل ١٦-١)، وتنافس العينين، والعمى الناجم عن الحركة، وقمع الوميض. فى هذه الحالة، يمكن أن يؤدى المدْخَل نفسه للشبكية (المحفز الفيزيائى ذاته) إلى مدركات مختلفة. يقدم تتبع الارتباطات العصبية للوعى المرتبطة بمحفزات الإدراك وسيلة تجريبية واعدة لتحديد الآليات العصبية المسئولة عن الوعى (الفصل ١٦).

ـ مجموعة التشفير Population Coding : تخطيط للتشفير يتوزع عبر مجموعة خلايا عصبية، كل منها متناغم عموما بشكل نسبى. بدمج مجموعات

مختلفة منها يمكن تمثيل المعلومات بقوة وفعالية (الشكل ٢ ـ ٣ والقسم ٢ ـ ٣). تطبق استراتيجية بديلة للتمثيل المتناثر.

- **اللحاء البصرى الأولي** Primary Visual Cortex : طرف لحائى فى الفص القذالى فى ظهر لحاء المُدْخَل البصرى من الشبكية عن طريق النواة الركبية الجانبية. ويسمى أيضًا V1، أو اللحاء المخطط، المنطقة ١٧ فى تقسيم برودمان (الفصل ٤ والشكل ٧ ـ ٢ والشكل ٨ ـ ١).

- **الرئيسات** Primates : تشمل رتبة الرئيسات القرود والقردة العليا والبشر. انظر هامش ٤١ فى القسم ١-٣.

- **الإعداد** Priming : إذا أثرت معالجة محفز واحد على معالجة مدْخل تال، تحدث علماء النفس عن الإعداد. ويحتمل أن تشمل تغيرات فى القيم المشبكية. يجب ألا يدرك المُدْخل الأول بشكل واعٍ حتى يزيد احتمالية تحديد محفز تالٍ (القسم ١١ ـ ٢).

- **خصوصية الوعى** Privacy of Consciousness : المدركات أو الذكريات الشعورية خاصة. لا يمكن التوصل لمحتوى الوعى، إلا عن طريق الأمثلة أو المقارنة ("يبدو هذا الأحمر مثل أحمر العلم الصينى"؛ القسم ١ـ١).

- **عمى الوجوه** Prosopagnosia : عجز بصرى خاص فى التعرف على الوجوه. فى بعض المرضى، عجز عن التعرف على الوجوه الشهيرة أو المألوفة (القسم ٨ ـ ٥).

- **كوليا** Qualia (المفرد كولى quale): المشاعر والأحاسيس الأولية التى تشكل خبرة الوعى (رؤية وجه، سماع نغمة، إلخ). والكوليا فى صميم مشكلة العقل والجسد. أرى فى القسم ١٤ ـ ٦ أن الكوليا ترمز، بطريقة محكمة، للقدر الهائل من المعلومات الصريحة والضمنية المحتواة فى إطار الائتلاف الفائز. وهذا الائتلاف كافٍ لمدرَك شعورى معين.

- **نوم الحركة السريعة للعينين** Rapid Eye Movement Sleep : مع النوم العميق، جزء من دورة النوم المعتاد، ويتميز بحركات سريعة فى العينين، وشلل فى العضلات الإرادية الأخرى، وأحلام متكررة وواضحة.

ـ معدل الشفرة Rate Code : انظر شفرة معدل التأجج.

ـ مجال الاستقبال Receptive Field : مجال الاستقبال الكلاسيكى لخلية عصبية بصرية هو موضع المجال البصرى وشكله، ومنه يمكن لمحفز، فى ذاته، أن يثير الخلية مباشرة. بينما الخلايا العصبية فى الشبكية والنواة الركبية الجانبية تتمتع بتنظيم حول المركز، يفضل اللحاء البصرى الأولي المحفزات الممتدة فى اتجاه معين. معظم المنطقة التى يمكن لاستجابة الخلية فيها أن ترفع حساسيتها للاستثارة أو تخفضها هى مجال الاستقبال غير الكلاسيكى. على سبيل المثال، إذا كان لقضبان فى مجال الاستقبال غير الكلاسيكى الاتجاه ذاته الذى للقضيب فى مركزه، منتجا نسيجا متجانسا، ربما تتوقف الخلية عن الاستجابة والقضبان تدور عموديا على القضيب المركزى، وتستثير نوبة من الشوكات (القسم ٤ ـ ٤). يضع مجالُ الاستقبال غير الكلاسيكى الاستجابة الأولية للخلية فى سياق أكبر.

ـ نوم الحركات السريعة للعينين REM : انظر نوم الحركات السريعة للعينين.

ـ خلايا عقدة الشبكية Retinal Ganglion Cells : تلخص أكثر من مليون خلية عصبية فى الشبكية كل المعلومات البصرية التى تستنبطها المستقبلات الضوئية، الأفقية، ثنائية القطب، وخلايا الأماكرين وتوصلها، فى صورة جهود فعل، إلى بقية الدماغ. وتشكل محاورها العصب البصرى. ونشاطها غير كافٍ للإدراك البصرى الشعورى (الفصل ٣).

ـ التنظيم الشبكى Retinotropic Organization : مثال للتنظيم الطوبوجرافى. ترتبط النقاط المتقاربة فى الفضاء البصرى بخلايا عصبية متجاورة، مع تمثيل للنقرة fovea ممتد بشكل كبير مقارنة بالمحيط البصرى (الشكل ٤ ـ ٢).

ـ حركة تذبذب العين Saccade or Saccadic Eye Movement : حركة سريعة جدا للعين، لكنها حركة موجهة. يفحص البشر والرئيسات الأخرى العالم عادة ويستكشفونه بالقيام ببعض التذبذبات فى كل ثانية أثناء اليقظة (القسم ٣ ـ ٧).

ـ الكشاف Searchlight : انظر الانتباه من أعلى إلى أسفل.

- العوامل الحركية الحسية Sensory-Motor Agents : انظر العوامل الزومبية.

- الذاكرة قصيرة المدى Short-Term memory : مصطلح شامل للتخزين المؤقت للمعلومات على مدى عشرات الثوانى. والذاكرة العاملة شكل من أشكال هذه الذاكرة الفورية (القسم ١١ ـ ٣).

- اللقطات Snapshots : انظر لحظات الإدراك.

- التمثيل المتناثر Sparse Representation : مخطط تشفير يتم فيه التعبير عن المعلومات بعدد صغير من الخلايا العصبية البصيرة. يتميز عن مجموعة التشفير بتمثيل المعلومات صراحة. فى حدود التشفير المتناثر الحقيقى، ربما لا تشفر خلية إلا فردًا واحدًا معينا أو فئة (الشكل ٢ ـ ٢ والقسم ٢ ـ ٢).

- التشفير المؤقت المتناثر Sparse Temporal Coding : شفرة تمثل فيها المعلومات بحفنة من الشوكات، تُطلَق فى نقطة زمنية معينة (مثل نغمة موسيقية واحدة) وليس بتغيرات أبطأ فى معدل التأجج على مدى كسر من الثانية أو أكثر (القسم ٢ ـ ٣). وهذا يحافظ على الطاقة ويقلل أيضا التداخل أثناء التعليم إلى أقصى حد.

- الشوكة Spike : انظر جهد الفعل.

- التزامن الشوكى Spike Synchrony : انظر التزامن.

- اللحاء المخطط Striate Cortex : اسم تشريحى للحاء البصرى الأولي.

- الارتباطات القوية أو الدافعة Strong or Driving Connections : محاور عصبية من المهاد أو من منطقة لحائية تنتهى أساسا فى الطبقة الرابعة من اللحاء أو فى الجزء الأقرب من الخلايا العصبية المهادية ويمكن أن تطلق، من نفسها، نشاطًا قويا فى جهد الفعل فى خلاياها المستهدفة. الارتباطات المنطلقة إلى الأمام التى تصعد التدرج الهرمى البصرى، من النواة الركبية الجانبية إلى اللحاء العصبى الأولي أو منه إلى المنطقة الصدغية الوسطى، ارتباطات دافعة. أفترض أنا وفرنسيس أن الجهاز اللحائى المهادى يتجنب الالتفافات صانعا ارتباطات قوية تماما (القسم ٧ ـ ٤).

- الطبقات السطحية Superficial Layers : الطبقات الأولى والثانية والثالثة من اللحاء الجديد (القسم ٤-٢). وتعرف أيضًا بالطبقات العليا. ينشأ الامتداد إلى الأمام من منطقة لحائية إلى مستوى أعلى من التدرج الهرمى من الطبقات السطحية. وتستقبل هذه الطبقات معلومات عمودية هائلة من خلايا الطبقة الرابعة، ومن مسارات التغذية الرجعية اللحائية، ومن خلايا المنشأ المهادى. ويضع الاثنان الأخيران الحسابات التى تتم هنا فى سياق أكثر عمومية.

- المشبك Synapse : نقطة متخصصة جدا للارتباط بين خلية عصبية قبل مشبكية وخلية عصبية بعد مشبكية. يطلق المشبك الكيميائى جزيئات ناقل عصبى من طرفه قبل المشبكى، نهاية عصب. وهذه الجزيئات تمسك بمُستقبِل مطمور فى غشاء الخلية العصبية بعد المشبكية لتستهل شلالا من الأحداث الكهربية السريعة (مثيرة أو كابحة) والكيميائية الحيوية البطيئة. فى مقدم الدماغ، الجلوتاميت والجابا هما الناقلان العصبيان السائدان، المثير والكابح. تتكوم مئات من ملايين المشابك فى واحد مم٣(٣) من النسيج اللحائى. والمشابك الكهربية (تعرف بفجوة الارتباطات) ارتباطات مباشرة منخفضة المقاومة بين الخلايا. فى اللحاء، ربما تعمل على تزامن تفريغ الخلايا العصبية البنية الكابحة (هامش ٢٦ فى القسم ٢-٣).

- المرونة المشبكية Synaptic Plasticity : تغيرات فيزيائية حيوية وكيميائية حيوية تزيد أو تقلل من قوة الاتصال الفعال للمشبك. وتستمر هذه التغيرات من دقائق إلى أيام أو أكثر. ويعتقد أن المرونة المشبكية مفتاح تخزين الذاكرة طويلة المدى (القسم ١١-١).

- التزامن أو تزامن الشوكات Synchrony or Spike Synchrony : المدى الذى تحدث به شوكة فى خلية عصبية فى الوقت ذاته (أو فى الوقت ذاته تقريبا) الذى تحدث فيه الشوكة فى خلية عصبية أخرى (على سبيل المثال، الشكل ٢ ـ ٧). مجموعة خلايا عصبية يترابط تأججها بشدة (التأجج المترابط) تقود خلاياها المستهدفة بشكل أفضل (يحمل المُدخَل المشبكى ضربة أقوى) مما إذا كان النشاط الشوكى غير منظم حول المجموعة. يحتمل أن يكون تزامن الشوكات آلية مهمة لتوجيه التنافس بين الخلايا العصبية.

- **الشفرة المؤقتة Temporal Code** : فرضية تفترض أن زمن حدوث جهود الفعل فى خلية عصبية واحدة وبين مجموعات من الخلايا يحتوى معلومات مناسبة. التفريغات التذبذبية فى مجال ٤٠ هرتز والتزامن أبرز مثالين لهذه الشفرات (القسم ٢-٣ والشكل ٢-٦ والشكل ٢-٧). ويحتمل أن يكون هذا التشفير مهمًا باعتباره التعبير العصبى للانتباه الانتقائى.
- **المهاد Thalamus** : بنيتان على قمة الدماغ الأوسط ينظمان كل مُدْخَل اللحاء الجديد. فى غيابهما تستحيل أى حياة ذهنية. ينقسم كل مهاد إلى نوى كثيرة لا تتحاور إحداها مع الأخرى مباشرة. وتستقبل هذه النوى تغذية رجعية هائلة من اللحاء. أعتبرُ المهاد عضو الانتباه (الشكل ٥-١ والقسم ٧-٣).
- **منظور الشخص الثالث Third Person Perspective** : وجهة نظر مراقب خارجى، يتوصل إلى سلوك شخص واعٍ وحالات دماغه (على سبيل المثال، بملاحظة الخلايا العصبية) ولا يتوصل إلى خبراته. خلال معظم التاريخ، تبنى علم الأحياء وعلم النفس تماما منظور شخص ثالث (كما فى دائرة فيينا Vienna أو النزعة السلوكية Behaviorism)، وأهملا تماما منظور الشخص الأول.
- **الانتباه من أعلى إلى أسفل Top-Down Attention** آلية اختيار، إرادية، مركَّزة، تعتمد على الغاية، أو داخلية تعمل فى الرؤية والحواس الأخرى (الجدول ٩ ـ ١). الاستعارة الشعبية للانتباه من أعلى إلى أسفل هى كشاف الانتباه الذى يضىء الأشياء فى مجال الرؤية، ويعزز معالجتها. على المستوى العصبى، من الوظائف المهمة للانتباه توجيه الائتلافات التى تشفِّر هذه الأشياء. والانتباه عملية منفصلة عن الإدراك الواعى (القسم، ٩ ـ ٢).
- **التنظيم الطوبوجرافى Topographic Organization** : ملاحظة أن نقطتين قريبتين مكانيا تمثلهما خلايا عصبية متجاورة. النواة الركبية الجانبية، واللحاء البصرى البدائى واللحاء السمعى واللحاء الحركى الحسى منظمة طوبوجرافيا. وهذا التنظيم غائب فى المناطق الأعلى للمسار البطنى.
- **الطبقات العليا Upper Layers** : انظر الطبقات السطحية.
- **V1** : انظر اللحاء البصرى الأولي.
- **حالة الخمود Vegetative State** : انظر الغيبوبة.

- المسار البطنى Ventral Pathway : تيار تشريحى هائل ينشأ فى اللحاء البصرى الأساسى ويمتد إلى المنطقة البصرية الرابعة واللحاء الصدغى السفلى. ومن هناك، يرسل واردات إلى الجزء الجانبى البطنى من لحاء مقدم الفص الجبهى. ويعرف أيضا بمسار الرؤية للإدراك أو مسار ماذا (الشكل ٧ ـ ٣).

- مسار الرؤية للفعل Vision-For-Action Pathway.

- مسار الرؤية للإدراك Vision-For-Perception Pathway : انظر المسار البطنى.

- اللامركزية البصرية Visual Eccentricity : يشار للزاوية مع نقطة الرؤية الأوضح، النُّقْرة، بالانحراف. كلما كان الموضوع أكثر لامركزية زادت صعوبة رؤيته بوضوح (الشكل ٣ ـ ٢).

- التدرج الهرمى البصرى Visual Hierarchy : التدرج الهرمى التشريحى الموجود فى اللحاء البصرى.

- الكل للفائز Winner-Take-All : نوع من العمليات، من السهل تنفيذه فى الشبكات العصبية، فيه لا تبقى حية إلا الخلايا العصبية التى تدخل إليها المعلومات الأقوى والأنشط. نتيجة للتفاعلات التنافسية المشبكية، الخلايا العصبية التى تدخل إليها المعلومات الأقل نشاطًا تقمع جزئيا (الكل للفائز الهش) أو تماما (الكل للفائز الصلب). ينبغى للائتلافات المسئولة عن الارتباطات العصبية للوعى أن تتمتع بخصائص الكل للفائز.

- الذاكرة العاملة Working Memory : وحدة ذاكرة دُرِستْ جيدا تخزن المعلومات التى تتطلبها المهام الجارية على مدى عشرات الثوانى (مثل رقم تليفون؛ القسم ١١-٣).

- العوامل الزومبية Zombie Agents : أجهزة حركية حسية تقوم بسلوك خاص بطريقة سريعة وبعفوية ودون أن ينتج عنها إحساس واع. قد يأتى هذا فيما بعد (بالتغذية الرجعية)، أو لا يأتى إطلاقًا. وتشمل الأمثلة حركات العين والمشى والجرى وقيادة الدراجات والرقص وقيادة السيارات والتسلق والأنشطة الأخرى التى تم التدريب عليها جيدا (الفصل ١٢ والفصل ١٣).

الهوامش:

(١) upregulation : زيادة عدد المستقبلات على سطح الخلايا المستهدفة مما يجعل الخلايا أقل حساسية لهرمون أو عامل آخر. downregulation : تقليل عدد المستقبلات على سطح الخلايا المستهدفة مما يجعل الخلايا أقل حساسية لهرمون أو عامل آخر (المترجم).

(٢) فى الترجمة العربية أستخدم أيضًا كلمتى الوعى والشعور بالتبادل (المترجم).

(٣) رى جاكندوف Ray Jackendoff (1945-): فيلسوف وعالم لغويات أمريكى.

(٤) خلايا الأماكرين amacrine: خلايا عصبية بينية فى الشبكية مسئولة عن ٧٠٪ من مُدْخَل خلايا عقدة الشبكية (المترجم).

المصادر

Abbott, L.F., Rolls, E.T., and Tovee, M.J. "Representational capacity of face coding in monkeys," *Cerebral Cortex* 6:498–505 (1996).

Abeles, M. *Corticonics: Neural Circuits of the Cerebral Cortex.* Cambridge, UK: Cambridge University Press (1991).

Abeles, M., Bergman, H., Margalit, E., and Vaadia, E. "Spatiotemporal firing patterns in the frontal cortex of behaving monkeys," *J. Neurophysiol.* 70:1629–1638 (1993).

Aboitiz, F., Scheibel, A.B., Fisher, R.S., and Zaidel, E. "Fiber composition of the human corpus callosum," *Brain Res.* 598:143–153 (1992).

Abrams, R.A. and Landgraf, J.Z. "Differential use of distance and location information for spatial localization," *Perception & Psychophysics* 47:349–359 (1990).

Achenbach, J. *Captured by Aliens: The Search for Life and Truth in a Very Large Universe.* New York: Simon & Schuster (1999).

Adolphs, R., Tranel, D., Hamann, S., Young, A.W., Calder, A.J., Phelps, E.A., Anderson, A., Lee G.P., and Damasio, A.R. "Recognition of facial emotion in nine individuals with bilateral amygdala damage," *Neuropsychologia* 37:1111–1117 (1999).

Aglioto, S., DeSouza, J.F.X., and Goodale, M.A. "Size-contrast illusions deceive the eye but not the hand," *Curr. Biol.* 5:679–685 (1995).

Ahmed, B., Anderson, J., Douglas, R., Martin, K., and Nelson, C. "Polyneuronal innervation of spiny stellate neurons in cat visual cortex," *J. Comp. Neurol.* 341:39–49 (1994).

Akelaitis, A.J. "Studies on corpus callosum: Higher visual functions in each homonymous field following complete section of corpus callosum," *Arch. Neurol. Psych. (Chicago)* 45:788–798 (1941).

Akelaitis, A.J. "A study of gnosis, praxis and language following section of the corpus callosum and anterior commisure," *J. Neurosurg.* 1:94–102 (1944).

Aksay, E., Gamkrelidze, G., Seung, H.S., Baker, R., and Tank, D.W. "*In vivo* intracellular recording and perturbation of persistent activity in a neural integrator," *Nature Neurosci.* 4:184–193 (2001).

Alauddin, M.M., Louie, A.Y., Shahinian, A., Meade, T.J., and Conti, P.S. "Receptor mediated uptake of a radiolabeled contrast agent sensitive to beta-galactosidase activity," *Nucl. Med. Biol.* 30:261–265 (2003).

Albright, T.D. "Cortical processing of visual motion," *Rev. Oculomot. Res.* 51:77–201 (1993).

Aldrich, M.S., Alessi, A.G., Beck, R.W., and Gilman, S. "Cortical blindness: Etiology, diagnosis and prognosis," *Ann. Neurol.* 21:149–158 (1987).

Alkire, M.T., Haier, R.J., Shah, N.K., and Anderson, C.T. "Positron emission tomograpy study of regional cerebral metabolism in humans during isoflurane anesthesia," *Anesthesiology* 86:549–557 (1997).

Alkire, M.T., Pomfrett, C.J.D., Haier, R.J., Gianzero, M.V., Chan, C.M., Jacobsen, B.P., and Fallon, J.H. "Functional brain imaging during anesthesia in humans," *Anesthesiology* 90:701–709 (1999).

Allen, W. *Getting Even*. New York: Random House (1978).

Allman, J.M. "Stimulus specific responses from beyond the classical receptive field: Neurophysiological mechanisms for local-global comparisons in visual neurons," *Ann. Rev. Neurosci.* 8:407–430 (1985).

Allman, J.M. *Evolving Brains*. New York: Scientific American Library (1999).

Allman, J.M. and Kaas, J.H. "A representation of the visual field in the caudal third of the middle temporal gyrus of the owl monkey (*Aotus trivirgatus*)," *Brain Res.* 31:85–105 (1971).

Anderson, M.C. and Green, C. "Suppressing unwanted memories by executive control," *Nature* 410:366–369 (2001).

Andersen, R.A. "Neural mechanisms of visual motion perception in primates," *Neuron* 18:865–872 (1997).

Andersen, R.A. "Encoding of intention and spatial location in the posterior parietal cortex," *Cerebral Cortex* 5:457–469 (1995).

Andersen, R.A., Asanuma, C., Essick, G., and Siegel, R.M. "Cortico-cortical connections of anatomically and physiologically defined subdivisions within the inferior parietal lobule," *J. Comp. Neurol.* 296:65–113 (1990).

Andersen, R.A, Essick, G., and Siegel, R. "Encoding of spatial location by posterior parietal neurons," *Science* 230:456–458 (1985).

Andersen, R.A., Snyder L.H., Bradley, D.C., and Xing, J. "Multimodal representation of space in the posterior parietal cortex and its use in planning movements," *Ann. Rev. Neurosci.* 20:303–330 (1997).

Andrews, T.J., Halpern, S.D., and Purves, D. "Correlated size variations in human visual cortex, lateral geniculate nucleus and optic tract," *J. Neurosci.* 17:2859–2868 (1997).

Andrews, T.J., and Purves, D. "Similarities in normal and binocularly rivalrous viewing," *Proc Natl. Acad. Sci. USA* 94:9905–9908 (1997).

Antkowiak, B. "How do general anesthetics work," *Naturwissenschaften* 88:201–213 (2001).

Arnold, D.H., Clifford, C.W.G., and Wenderoth, P. "Asynchronous processing in vision: Color leads motion," *Curr. Biol.* 11:596–600 (2001).

Asenjo, A.B., Rim, J., and Oprian, D.D. "Molecular determinants of human red/green color discrimination," *Neuron* 12:1131–1138 (1994).

Astafiev, S.V., Shulman, G.L., Stanley, C.M., Snyder, A.Z., Van Essen, D.C., and Corbetta, M. "Functional Organization of Human Intraparietal and Frontal Cortex for Attending, Looking, and Pointing," *J. Neurosci.* 23:4689–4699 (2003).

Attneave, F. "In defense of homunculi." In: *Sensory Communication.* Rosenblith W.A., ed., pp. 777–782. New York: MIT Press (1961).

Baars, B.J. *A Cognitive Theory of Consciousness.* Cambridge, UK: Cambridge University Press (1988).

Baars, B.J. "Surprisingly small subcortical structures are needed for the *state* of waking consciousness, while cortical projection areas seem to provide perceptual *contents* of consciousness," *Consc. & Cognition* 4:159–162 (1995).

Baars, B.J. *In the Theater of Consciousness.* New York: Oxford University Press (1997).

Baars, B.J. "The conscious access hypothesis: Origins and recent evidence," *Trends Cogn. Sci.* 6:47–52 (2002).

Bachmann, T. *Psychophysiology of Visual Masking.* Commack, NY: Nova Science Publishers (1994).

Bachmann T. *Microgenetic Approach to the Conscious Mind.* Amsterdam, Netherlands: Johns Benjamins (2000).

Baddeley, A. *Working Memory.* London, UK: Oxford University Press (1986).

Baddeley, A. *Human Memory: Theory and Practice.* Boston: Allyn & Bacon (1990).

Baddeley, A. "The episodic buffer: A new component of working memory?" *Trends Cogn. Sci.* 4:417–423 (2000).

Baer, P.E., and Fuhrer, M.J. "Cognitive processes in the differential trace conditioning of electrodermal and vasomotor activity," *J. Exp. Psychology* **84**:176–178 (1970).

Bair, W. "Spike timing in the mammalian visual system," *Curr. Opinion Neurobiol.* 9:447–453 (1999).

Bair, W. and Koch, C. "Temporal precision of spike trains in extrastriate cortex of the behaving monkey," *Neural Comp.* 8:1185–1202 (1996).

Baizer, J.A., Ungerleider, L.G., and Desimone, R. "Organization of visual inputs to the inferior temporal and posterior parietal cortex in macaques," *J. Neurosci.* **11**:168–190 (1991).

Bar, M. and Biederman, I. "Subliminal visual priming," *Psychological Science* 9:464–469 (1998).

Bar, M. and Biederman, I. "Localizing the cortical region mediating visual awareness of object identity," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **96**:1790–1793 (1999).

Barbas, H. "Pattern in the laminar origin of corticocortical connections," *J. Comp. Neurol.* **252**:415–422 (1986).

Barcelo, F., Suwazono, S., and Knight, R.T. "Prefrontal modulation of visual processing in humans," *Nature Neurosci.* 3:399–403 (2000).

Bargmann, C.I. "Neurobiology of the *Caenorhabditis elegans* genome," *Science* **282**:2028–2033 (1998).

Barlow, H.B. "Single units and sensation: A neuron doctrine for perceptual psychology," *Perception* 1:371–394 (1972).

Barlow, H.B. "The neuron doctrine in perception." In: *The Cognitive Neurosciences.* 1st ed., Gazzaniga, M., ed., pp. 415–435. Cambridge, MA: MIT Press (1995).

Barone, P., Batardiere, A., Knoblauch, K., and Kennedy, H. "Laminar distribution of neurons in extrastriate areas projecting to visual areas V1 and V4 correlates with the hierarchical rank and indicates the operation of a distance rule," *J. Neurosci.* 20:3263–3281 (2000).

Barrow, J.D., and Tipler, F.J. *The Anthropic Cosmological Principle.* Oxford, UK: Oxford University Press (1986).

Bateson, W. "Review of *The Mechanism of Mendelian Heredity* by T.H. Morgan, A.H. Sturtevant, H.J. Muller, and C.B. Bridges," *Science* 44:536–543 (1916).

Batista, A.P. and Andersen, R.A. "The parietal reach region codes the next planned movement in a sequential reach task," *J. Neurophysiol.* 85:539–544 (2001).

Bauby, J.-D. *The Diving Bell and the Butterfly: A Memoir of Life in Death.* New York: Alfred A. Knopf (1997).

Bauer, R.M. and Demery, J.A. "Agnosia." In: *Clinical Neuropsychology.* 4th ed., Heilman, K.M., and Valenstein, E., eds., pp. 236–295. New York: Oxford University Press (2003).

Bayne, T. and Chalmers, D.J. "What is the unity of consciousness?" In: *The Unity of Consciousness.* Cleeremans, A., ed., pp. 23–58. Oxford, UK: Oxford University Press (2003).

Beckermann, A., Flohr, H., and Kim, J., eds. *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism.* Berlin: Walter de Gruyter (1992).

Beierlein, M., Gibson, J.R., and Connors, B.W. "A network of electrically coupled interneurons drives synchronized inhibition in neocortex," *Nature Neurosci.* 3:904–910 (2000).

Bennett, C.H. "Logical depth and physical complexity." In: *The Universal Turing Machine. A Half-Century Survey.* Herken, R., ed., pp. 227–258. Oxford, UK: Oxford University Press (1988).

Benton, A. and Tranel, D. "Visuoperceptual, visuospatial, and visuoconstructive disorders." In: *Clinical Neurosychology.* 3rd ed., Heilman, K.M. and Valenstein, E., eds., pp. 165–278. New York: Oxford University Press (1993).

Bergen, J.R. and Julesz, B. "Parallel versus serial processing in rapid pattern discrimination," *Nature* 303:696–698 (1983).

Berns, G.S., Cohen, J.D., and Mintun, M.A. "Brain regions responsive to novelty in the absence of awareness," *Science* 276:1272–1275 (1997).

Berti, A. and Rizzolatti, G. "Visual processing without awareness: Evidence from unilateral neglect," *J. Cogn. Neurosci.* 4:345–351 (1992).

Bhalla, M. and Proffitt, D.R. "Visual-motor recalibration in geographical slant perception," *J. Exp. Psychol.: Human Perception & Performance* 25:1076–1096 (1999).

Bialek W., Rieke, F., van Steveninck, R.R.D., and Warland, D. "Reading a neural code," *Science* 252:1854–1857 (1991).

Biederman, I. "Perceiving real-world scenes," *Science* 177:77–80 (1972).

Billock, V.A. "Very short term visual memory via reverberation: A role for the cortico-thalamic excitatory circuit in temporal filling-in during blinks and saccades?" *Vision Res.* 37:949–953 (1997).

Bisiach, E. and Luzzatti, C. "Unilateral neglect of representational space," *Cortex* 14:129–133 (1978).

Bisley, J.W. and Goldberg, M.E. "Neuronal activity in the lateral intraparietal area and spatial attention," *Science* 299:81–86 (2003).

Blackmore, S.J. *Beyond the Body: An Investigation of Out-Of-The-Body Experiences*. London: Heinemann (1982).

Blackmore, S., Brelstaff, G., Nelson, K., and Tsoscianko, T. "Is the richness of our visual world an illusion? Transsaccadic memory for complex scenes," *Perception* 24:1075–1081 (1995).

Blake, R. "A neural theory of binocular rivalry," *Psychol. Rev.* 96:145–167 (1989).

Blake, R. "What can be "perceived" in the absence of visual awareness?" *Curr. Direction Psychol. Sci.* 6:157–162 (1998).

Blake, R. and Cormack, R.H. "On utrocular discrimination," *Perception & Psychophysics* 26:53–68 (1979).

Blake, R. and Fox, R. "Adaptation to invisible gratings and the site of binocular rivalry suppression," *Nature* 249:488–490 (1974).

Blake, R. and Logothetis, N.K. "Visual Competition," *Nature Rev. Neurosci.* 3:13–21 (2002).

Blanke, O., Ortigue, S., Landis, T., and Seeck, M. "Stimulating illusory own-body perceptions," *Nature* 419:269–270 (2002).

Blasdel, G.G. "Orientation selectivity, preference, and continuity in monkey striate cortex," *J. Neurosci.* 12:3139–3161 (1992).

Blasdel, G.G. and Lund, J.S. "Termination of afferent axons in macaque striate cortex," *J. Neurosci.* 3:1389–1413 (1983).

Blaser, E., Sperling, G., and Lu, Z.-L. "Measuring the amplification of attention," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96:11681–11686 (1999).

Blatow, M., Rozov, A., Katona, I., Hormuzdi, S.G., Meyer, A.H., Whittington, M.A., Caputi, A., and Monyer, H. "A novel network of multipolar bursting interneurons generates theta frequency oscillations in neocortex," *Neuron* 38:805–817 (2003).

Block, N. "On a confusion about a function of consciousness," *Behav. Brain Sci.* 18:227–247 (1995).

Block, N. "How can we find the neural correlate of consciousness?" *Trends Neurosci.* 19:456–459 (1996).

Block, N., Flanagan, O., and Güzeldere, G., eds. *Consciousness: Philosophical Debates*. Cambridge, MA: MIT Press (1997).

Bogen, J.E. "Mental duality in the intact brain," *Bull. Clinical Neurosci.* 51:3–29 (1986).

Bogen, J.E. "The callosal syndromes." In: *Clinical Neurosychology*. 3rd ed., Heilman, K.M. and Valenstein, E., eds., pp. 337–407. New York: Oxford University Press (1993).

Bogen, J.E. "On the neurophysiology of consciousness: I. An overview," *Consc. & Cognition* 4:52–62 (1995a).

Bogen, J.E. "On the neurophysiology of consciousness: II. Constraining the semantic problem," *Consc. & Cognition* 4:137–158 (1995b).

Bogen, J.E. "Some neurophysiologic aspects of consciousness," *Sem. Neurobiol.* 17:95–103 (1997a).

Bogen, J.E. "The neurosurgeon's interest in the corpus callosum." In: *A History of Neurosurgery in its Scientific and Professional Contexts.* Greenblatt S.H., ed., chapter 24. Park Ridge, IL: American Association of Neurological Surgeons (1997b).

Bogen, J.E. "Does cognition in the disconnected right hemisphere require right hemisphere possession of language?" *Brain & Language* 57:12–21 (1997c).

Bogen, J.E., Fisher, E.D., and Vogel, P.J. "Cerebral commissurotomy: A second case report," *J. Am. Med. Assoc.* 194:1328–1329 (1965).

Bogen, J.E. and Gazzaniga, M.S. "Cerebral commissurotomy in man: Minor hemisphere dominance for certain visuospatial functions," *J. Neurosurg.* 23:394–399 (1965).

Bogen, J.E. and Gordon, H. W. "Musical tests for functional lateralization with intracarotid amobarbital," *Nature* 230:524–525 (1970).

Bonneh, Y.S., Cooperman, A., and Sagi, D. "Motion-induced blindness in normal observers," *Nature* 411:798–801 (2001).

Booth, M.C.A. and Rolls, E.T. "View-invariant representations of familiar objects by neurons in the inferior temporal visual cortex," *Cerebral Cortex* 8:510–523 (1998).

Borrell, V. and Callaway, E.M. "Reorganization of exuberant axonal arbors contributes to the development of laminar specificity in ferret visual cortex," *J. Neurosci.* 22:6682–6695 (2002).

Bourassa, J. and Deschenes, M. "Corticothalamic projections from the primary visual cortex in rats: A single fiber study using biocytin as an anterograde tracer," *Neurosci.* 66:253–263 (1995).

Braak, H. "On the striate area of the human isocortex. A Golgi and pigmentarchitectonic study," *J. Comp. Neurol.* 166:341–364 (1976).

Braak, H. *Architectonics of the Human Telencephalic Cortex.* Berlin: Springer (1980).

Bradley, D.C., Chang, G.C., and Andersen, R.A. "Encoding of three-dimensional structure-from-motion by primate area MT neurons," *Nature* 392:714–717 (1998).

Braitenberg, V. and Schüz, A. *Anatomy of the Cortex.* Heidelberg: Springer (1991).

Braun, J. "Visual search among items of different salience: Removal of visual attention mimics a lesion in extrastriate area V4," *J. Neurosci.* 14:554–567 (1994).

Braun, J. "Natural scenes upset the visual applecart," *Trends Cogn. Neurosci.* 7:7–9 (2003).

Braun, A.R., Balkin, T.J., Wesensten, N.J., Gwadry, F., Carson, R.E., Varga, M., Baldwin, P., Belenky, G., and Herscovitch, P. "Dissociated pattern of activity in visual cortices and their projections during human rapid eye movement sleep," *Science* 279:91–95 (1998).

Braun, J. and Julesz, B. "Withdrawing attention at little or no cost: Detection and discrimination tasks," *Perception & Psychophysics* 60:1–23 (1998).

Braun, J., Koch, C., and Davis, J.L., eds. *Visual Attention and Cortical Circuits.* Cambridge, MA: MIT Press (2001).

Braun, J. and Sagi, D. "Vision outside the focus of attention," *Perception & Psychophysics* **48**:277–294 (1990).

Brefczynski, J.A. and DeYoe, E.A. "A physiological correlate of the 'spotlight' of visual attention," *Nature Neurosci.* 2:370–374 (1999).

Breitmeyer, B.G. *Visual Masking: An Integrative Approach.* Oxford, UK: Oxford University Press (1984).

Breitmeyer, B.G. and Ögmen, H. "Recent models and findings in backward visual masking: A comparison, review and update," *Percept. & Psychophysics* **62**:1572–1595 (2000).

Brewer, A.A., Press, W.A., Logothetis, N.K., and Wandell, B.A. "Visual areas in macaque cortex measured using functional magnetic resonance imaging," *J. Neurosci.* **22**:10416–10426 (2002).

Brickner, R.M. *The Intellectual Functions of the Frontal Lobes.* New York: Macmillan (1936).

Bridgeman, B., Hendry, D., and Stark, L. "Failure to detect displacement of the visual world during saccadic eye movements," *Vision Res.* **15**:719–722 (1975).

Bridgeman, B., Kirch, M., and Sperling, A. "Segregation of cognitive and motor aspects of visual function using induced motion," *Percept. Psychophys.* **29**:336–342 (1981).

Bridgeman, B., Lewis, S., Heit, G., and Nagle, M. "Relation between cognitive and motor-oriented systems of visual position perception," *J. Exp. Psychol. Hum. Percept.* 5:692–700 (1979).

Bridgeman, B., Peery S., and Anand, S. "Interaction of cognitive and sensorimotor maps of visual space," *Perception & Psychophysics* **59**:456–469 (1997).

Brindley, G.S., Gautier-Smith, P.C., and Lewin, W. "Cortical blindness and the functions of the non-geniculate fibres of the optic tracts," *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* **32**:259–264 (1969).

Britten, K.H., Newsome, W.T., Shadlen, M.N., Celebrini, S., and Movshon, J.A. "A relationship between behavioral choice and the visual responses of neurons in macaque MT," *Visual Neurosci.* **13**:87–100 (1996).

Britten, K.H., Shadlen, M.N., Newsome, W.T., and Movshon, A. "The analysis of visual motion: A comparison of neuronal and psychophysical performance," *J. Neurosci.* **12**:4745–4765 (1992).

Broca, A. and Sulzer, D. "La sensation lumineuse fonction du temps," *J. de Physiol. Taphol. Generale* 4:632–640 (1902).

Brodmann, K. "Physiologie des Gehirns," *Neue Deutsche Chirurgie* **11**:85–426 (1914).

Brooke, R.N., Downes, J., and Powell, T.P. "Centrifugal fibres to the retina in the monkey and cat," *Nature* **207**:1365–1367 (1965).

Broughton, R., Billings, R., Cartwright, R., Doucette, D., Edmeads, J., Edwardh, M., Ervin, F., Orchard, B., Hill, R., and Turrell, G. "Homicidal somnambulism: A case report," *Sleep* **17**:253–264 (1994).

Brown, E.N., Frank, L.M., Tang, D., Quirk, M.C., and Wilson, M.A. "A statistical paradigm for neural spike train decoding applied to position prediction from ensemble firing patterns of rat hippocampal place cells," *J. Neurosci.* 18:7411–7425 (1998).

Brown, W.S., Murphy, N., and Malony, H.N., eds. *Whatever Happened to the Soul? Scientific and Theological Portraits of Human Nature.* Minneapolis, MN: Fortress Press (1998).

Bruce, C.J., Desimone, R., and Gross, C.G. "Both striate cortex and superior colliculus contribute to visual properties of neurons in superior temporal polysensory area of the macaque monkey," *J. Neurophysiol.* 55:1057–1075 (1986).

Budd, J.M. "Extrastriate feedback to primary visual cortex in primates: A quantitative analysis of connectivity," *Proc. R. Soc. Lond. B* 265:1037–1044 (1998).

Bullier, J. "Feedback connections and conscious vision," *Trends Cogn. Sci.* 5:369–370 (2001).

Bullier, J., Girard, P., and Salin, P.-A. "The role of area 17 in the transfer of information to extrastriate visual cortex." In: *Cerebral Cortex Vol. 10.* Peters, A. and Rockland, K.S., eds., pp. 301–330. New York: Plenum Press (1994).

Burkhalter, A. and Van Essen, D.C. "Processing of color, form and disparity information in visual areas VP and V2 of ventral extrastiriate cortex in the macaque monkey," *J. Neurosci.* 6:2327–2351 (1986).

Burle, B. and Bonnet, M. "Further argument for the existence of a pacemaker in the human information processing system," *Acta Psychol.* 97:129–143 (1997).

Burle, B. and Bonnet, M. "What's an internal clock for? From temporal information processing to temporal processing of information," *Behavioural Processes* 45:59–72 (1999).

Burr, D.C., Morrone, M.C., and Ross, R. "Selective suppression of the magnocellular visual pathway during saccadic eye movements," *Nature* 371:511–513 (1994).

Buxhoeveden, D.P. and Casanova, M.F. "The minicolumn hypothesis in neuroscience," *Brain* 125:935–951 (2002).

Buzsáki, G. "Theta oscillations in the hippocampus," *Neuron* 33:325–340 (2002).

Byrne, A. and Hilbert, D.R., eds. *Readings on Color: The Science of Color.* Vol. 2. Cambridge, MA: MIT Press (1997).

Calkins, D.J. "Representation of cone signals in the primate retina," *J. Optical Soc. Am. A* 17:597–606 (2000).

Callaway, E.M. and Wiser, A.K. "Contributions of individual layer 2–5 spiny neurons to local circuits in macaque primary visual cortex," *Vis. Neurosci.* 13:907–922 (1996).

Calvin, W.H. "Competing for consciousness: A Darwinian mechanism of an appropriate level of explanation." *J. Consc. Studies* 5:389–404 (1998).

Calvin, W.H. and Ojemann, G.A. *Conversations with Neil's Brain.* Reading, MA: Addison-Wesley (1994).

Campbell, K.K. *Body and Mind.* New York: Doubleday (1970).

Carey, D.P. "Do action systems resist visual illusions?" *Trends Cogn. Sci.* 5:109–113 (2001).

Carmichael, S.T. and Price, J.L. "Architectonic subdivision of the orbital and medial prefrontal cortex in the macaque monkey," *J. Comp. Neurol.* **346**:366–402 (1994).

Carrillo, M.C., Gabrieli, J.D.E., and Disterhoft, J.F. "Selective effects of division of attention on discrimination conditioning," *PsychoBiol.* **28**:293–302 (2000).

Carter, R.M., Hofstötter, C., Tsuchiya, N., and Koch, C. "Working memory and fear conditoning," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **100**:1399–1404 (2003).

Castet, E. and Masson, G.S. "Motion perception during saccadic eye movements," *Nature Neurosci.* **3**:177–183 (2000).

Castiello, U., Paulignan, Y., and Jeannerod, M. "Temporal dissociation of motor responses and subjective awareness," *Brain* **114**:2639–2655 (1991).

Cauller, L.J. and Kulics, A.T. "The neural basis of the behaviorally relevant N1 component of the somatosensory-evoked potential in SI cortex of awake monkeys: Evidence that backward cortical projections signal conscious touch sensation," *Exp. Brain Res.* **84**:607–619 (1991).

Cave, K.R. and Bichot, N.P. "Visuospatial attention: Beyond a spotlight model," *Psychonomic Bull. Rev.* **6**:204–223 (1999).

Celesia, G.G. "Persistent vegetative state: Clinical and ethical issues," *Theor. Medicine* **18**:221–236 (1997).

Celesia, G.G., Bushnell, D., Cone-Toleikis, S., and Brigell, M.G. "Cortical blindness and residual vision: Is the second visual system in humans capable of more than rudimentary visual perception?" *Neurol.* **41**:862–869 (1991).

Chalmers, D.J. *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory.* New York: Oxford University Press (1996).

Chalmers, D.J. "What is a neural correlate of consciousness?" In: *Neural Correlates of Consciousness: Empirical and Conceptual Questions.* Metzinger, T., ed., pp. 17–40. Cambridge, MA: MIT Press (2000).

Chalmers, D.J., ed. *Philosophy of Mind: Classical and Contemporary Readings.* Oxford, UK: Oxford University Press (2002).

Changeux, J.P. *L'homme neuronal.* Paris: Fayard (1983).

Chatterjee, S. and Callaway, E.M. "S cone contributions to the magnocellular visual pathway in macaque monkey," *Neuron* 35:1135–1146 (2002).

Cheesman J. and Merikle, P.M. "Distinguishing conscious from unconscious perceptual processes," *Can. J. Psychol.* 40:3433–367 (1986).

Chelazzi, L., Miller, E.K., Duncan, J., and Desimone, R. "A neural basis for visual search in inferior temporal cortex," *Nature* 363:345–347 (1993).

Cherniak, C. "Neural component placement," *Trends Neurosci.* **18**:522–527 (1995).

Chun, M. M. and Wolfe, J. M. "Just say no: How are visual searches terminated when there is no target present?" *Cogn. Psychology* **30**:39–78 (1996).

Churchland, P.S. *Neurophilosophy.* Cambridge, MA: MIT Press (1986).

Churchland, P.S. *Brain-Wise: Studies in Neurophilosophy.* Cambridge, MA: MIT Press (2002).

Churchland, P.S. and Ramachandran, V.S. "Filling in: Why Dennett is wrong." In: *Dennett and His Critics: Demystifying Mind.* Dahlbom, B., ed., pp. 28–52. Oxford, UK: Blackwell Scientific (1993).

Clark, R.E. and Squire, L.R. "Classical conditioning and brain systems: The role of awareness," *Science* 280:77–81 (1998).

Clark, R.E. and Squire, L.R. "Human eyeblink classical conditioning: Effects of manipulating awareness of the stimulus contingencies," *Psychological Sci.* 10:14–18 (1999).

Cleeremans, A., et al. "Implicit learning: News from the front," *Trends Cogn. Sci.* 2:406–416 (1998).

Cleeremans, A., ed. *The Unity of Consciousness.* Oxford, UK: Oxford University Press (2003).

Clifford, C.W.G., Arnold, D.H., and Pearson, J. "A paradox of temporal perception revealed by a stimulus oscillating in colour and orientation," *Vision Res.* 43:2245–2253 (2003).

Colby, C.L. and Goldberg, M.E. "Space and attention in parietal cortex," *Ann. Rev. Neurosci.* 22:319–349 (1999).

Cole, J. *Pride and a Daily Marathon.* Cambridge, MA: MIT Press (1995).

Coltheart, M. "Iconic memory," *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 302:283–294 (1983).

Coltheart, V., ed. *Fleeting Memories: Cognition of Brief Visual Stimuli.* Cambridge, MA: MIT Press (1999).

Colvin, M.K., Dunbar, K., and Grafman, J. "The effects of frontal lobe lesions on goal achievement in the water jug task," *J. Cogn. Neurosci.* 13:1139–1147 (2001).

Compte, A., Brunel, N., Goldman-Rakic, P.S., and Wang, X.J. "Synaptic mechanisms and network dynamics underlying spatial working memory in a cortical network model," *Cerebral Cortex* 10:10–123 (2000).

Conway, B.R., Hubel, D.H., and Livingstone, M.S. "Color contrast in macaque V1," *Cerebral Cortex* 12:915–925 (2002).

Cook, E.P. and Maunsell, J.H.R. "Dynamics of neuronal responses in macaque MT and VIP during motion detection," *Nature Neurosci.* 5:985–994 (2002).

Coppola, D. and Purves, D. "The extraordinary rapid disappearance of entoptic images," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93:8001–8004 (1996).

Corbetta, M. "Frontoparietal cortical networks for directing attention and the eye to visual locations: Identical, independent, or overlapping neural systems?" *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95:831–838 (1998).

Corkin, S., Amaral, D.G., Gonzalez, R.G., Johnson, K.A., and Hyman, B.T. "H. M.'s medial temporal lobe lesion: Findings from magnetic resonance imaging," *J. Neurosci.* 17:3964–3979 (1997).

Cornell-Bell, A.H., Finkbeiner, S.M., Cooper, M.S., and Smith, S.J. "Glutamate induces calcium waves in cultured astrocytes: Long-range glial signaling," *Science* 247:470–473 (1990).

Cotterill, R. *Enchanted Looms: Conscious Networks in Brains and Computers.* Cambridge, UK: Cambridge University Press (1998).

Courtney, S.M., Petit, L., Maisog, J.M., Ungerleider, L.G., and Haxby, J.V. "An area specialized for spatial working memory in human frontal cortex," *Science* 279:1347–1351 (1998).

Cowan, N. "The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity," *Behav. Brain Sci.* 24:87–185 (2001).

Cowey, A. and Heywood, C.A. "Cerebral achromatopsia: Color blindness despite wavelength processing," *Trends Cogn. Sci.* 1:133–139 (1997).

Cowey, A. and Stoerig, P. "The neurobiology of blindsight," *Trends Neurosci.* 14:140–145 (1991).

Cowey, A. and Stoerig, P. "Blindsight in monkeys," *Nature* 373:247–249 (1995).

Cowey, A. and Walsh, V. "Tickling the brain: Studying visual sensation, perception and cognition by transcranial magnetic stimulation," *Prog Brain Reserch* 134:411–425 (2001).

Creutzfeldt, O.D. *Cortex Cerebri: Performance, Structural and Functional Organization of the Cortex.* Oxford, UK: Oxford University Press (1995).

Creutzfeldt, O.D. and Houchin, J. "Neuronal basis of EEG waves." In: *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology.* Vol. 2., Remond, A., ed., pp. 3–55. Amsterdam, Netherlands: Elsevier (1984).

Crick, F.C. "Thinking about the brain," *Scientific American* 241:219–232 (1979).

Crick, F.C. "Function of the thalamic reticular complex: The searchlight hypothesis," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 81:4586–4590 (1984).

Crick, F.C. *The Astonishing Hypothesis.* New York: Charles Scribner's Sons (1994).

Crick, F.C. and Jones, E.G. "Backwardness of human neuroanatomy," *Nature* 361:109–110 (1993).

Crick, F.C. and Koch, C. "Towards a neurobiological theory of consciousness," *Sem. Neurosci.* 2:263–275 (1990a).

Crick, F.C. and Koch, C. "Some reflections on visual awareness," *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.* 55:953–962 (1990b).

Crick, F.C. and Koch, C. "The problem of consciousness," *Sci. Am.* 267:153–159 (1992).

Crick, F.C. and Koch, C. "Are we aware of neural activity in primary visual cortex?" *Nature* 375:121–123 (1995a).

Crick, F.C. and Koch, C. "Why neuroscience may be able to explain consciousness," *Sci. Am.* 273:84–85 (1995b).

Crick, F.C. and Koch, C. "Constraints on cortical and thalamic projections: The no-strong-loops hypothesis," *Nature* 391:245–250 (1998a).

Crick, F.C. and Koch, C. "Consciousness and neuroscience," *Cerebral Cortex* 8:97–107 (1998b).

Crick, F.C. and Koch, C. "The Unconscious Homunculus. With commentaries by multiple authors," *Neuro-Psychoanalysis* 2:3–59 (2000).

Crick, F.C. and Koch, C. "A framework for consciousness," *Nature Neurosci.* 6:119–126 (2003).

Crunelli, V. and Leresche, N. "Childhood absence epilepsy: Genes, channels, neurons and networks," *Nature Rev. Neurosci.* 3:371–382 (2002).

Culham, J.C., Brandt, S.A., Cavanagh, P., Kanwisher, N.G., Dale, A.M., and Tootell, R.B. "Cortical fMRI activation produced by attentive tracking of moving targets," *J. Neurophysiol.* 80:2657–2670 (1998).

Cumming, B.G. and DeAngelis, G.C. "The physiology of stereopsis," *Ann. Rev. Neurosci.* 24:203–238 (2001).

Cumming, B.G. and Parker, A.J. "Responses of primary visual cortical neurons to binocular disparity without depth perception," *Nature* 389:280–283 (1997).

Cumming, B.G. and Parker, A.J. "Binocular neurons in V1 of awake monkeys are selective for absolute, not relative, disparity," *J. Neurosci.* 19:5602–5618 (1999).

Cumming, B.G. and Parker, A.J. "Local disparity not perceived depth is signalled by binocular neurons in cortical area V1 of the macaque," *J. Neurosci.* 20:4758–4767 (2000).

Curcio, C.A., Allen, K.A., Sloan, K.R., Lereá, C.L. Hurley, J.B., Klock, I.B., and Milam, A.H. "Distribution and morphology of human cone photoreceptors stained with anti-blue opsin," *J. Comp. Neurol.* 312:610–624 (1991).

Curran, T. "Implicit learning revealed by the method of opposition," *Trends Cogn. Sci.* 5:503–504 (2001).

Cytowic, R.E. *The Man Who Tasted Shapes.* Cambridge, MA: MIT Press (1993).

Dacey, D.M. "Circuitry for color coding in the primate retina," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93:582–588 (1996).

Dacey, D.M., Peterson, B.B., Robinson, F.R., and Gamlin, P.D. "Fireworks in the primate retina: In vitro photodynamics reveals diverse LGN-projecting ganglion cell types," *Neuron* 37:15–27 (2003).

Damasio, A.R. *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness.* New York: Harcourt Brace (1999).

Damasio, A.R. "A neurobiology for consciousness." In: *Neural Correlates of Consciousness: Empirical and Conceptual Questions.* Metzinger, T., ed., pp. 111–120. Cambridge, MA: MIT Press (2000).

Damasio, A.R. and Anderson, S.W. "The frontal lobes." In: *Clinical Neuropsychology.* 4th ed., Heilman, K.M. and Valenstein, E. eds., pp. 404–446. New York: Oxford University Press (2003).

Damasio, A.R., Eslinger, P., Damasio, H., Van Hoesen, G.W., and Cornell, S. "Multimodal amnesic syndrome following bilateral temporal and basal forebrain damage," *Arch. Neurol.* 42:252–259 (1985).

Damasio, A.R., Tranel, D., and Rizzo, M. "Disorders of complex visual processing." In: *Principles of Behavioral and Cognitive Neurology.* Mesulam, M.M., ed., pp. 332–372. Oxford, UK: Oxford University Press (2000).

Damasio, A.R., Yamada, T., Damasio, H., Corbet, J., and McKee, J. "Central achromatopsia: Behavioral, anatomic and physiologic aspects," *Neurol.* 30:1064–1071 (1980).

Dantzker, J.L. and Callaway, E.M. "Laminar sources of synaptic input to cortical inhibitory interneurons and pyramidal neurons," *Nature Neurosci.* 7:701–707 (2000).

Das, A. and Gilbert, C.D. "Distortions of visuotopic map match orientation singularities in primary visual cortex," *Nature* 387:594–598 (1997).

Davis, W. *Passage of Darkness: The Ethnobiology of the Haitian Zombie.* Chapel Hill, NC: University of North Carolina Press (1988).

Dawson M.E. and Furedy, J.J. "The role of awareness in human differential autonomic classical conditioning: The necessary gate hypothesis," *Psychophysiology* 13:50–53 (1976).

Dayan P. and Abbott, L. *Theoretical Neuroscience.* Cambridge, MA: MIT Press (2001).

DeAngelis, G.C., Cumming, B.G., and Newsome, W.T. "Cortical area MT and the perception of stereoscopic depth," *Nature* 394:677–680 (1998).

DeAngelis, G.C. and Newsome, W.T. "Organization of disparity-selective neurons in macaque area MT," *J. Neurosci.* 19:1398–1415 (1999).

de Fockert, J.W., Rees, G., Frith, C.D., and Lavie, N. "The role of working memory in visual selective attention," *Science* 291:1803–1806 (2001).

Dehaene, S. "Temporal oscillations in human perception," *Psychol. Sci.* 4:264–270 (1993).

Dehaene, S. and Changeux, J.-P. "Neural mechanisms for access to consciousness." In: *The Cognitive Neurosciences.* 3rd ed., Gazzaniga, M., ed., in press. Cambridge, MA: MIT Press (2004).

Dehaene, S. and Naccache, L. "Towards a cognitive neuroscience of consciousness: Basic evidence and a workspace framework," *Cognition* 79:1–37 (2001).

Dehaene, S., Naccache, L., Cohen, L., Le Bihan, D., Mangin J.-F., Poline J.-B., and Rivère, D. "Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming," *Nature Neurosci.* 4:752–758 (2001).

Dehaene, S., Sergent, C., and Changeux, J.P. "A neuronal model linking subjective report and objective neurophysiological data during conscious perception," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100:8520–8525 (2003).

de Lima, A.D., Voigt, T., and Morrison, J.H. "Morphology of the cells within the inferior temporal gyrus that project to the prefrontal cortex in the macaque monkey," *J. Comp. Neurol.* 296:159–172 (1990).

Dennett, D. *Content and Consciousness.* Cambridge, MA: MIT Press (1969).

Dennett, D. *Brainstorms.* Cambridge, MA: MIT Press (1978).

Dennett, D. *Consciousness Explained.* Boston: Little & Brown (1991).

Dennett, D. "Are we explaining consciousness yet?" *Cognition* 79:221–237 (2001).

Dennett, D. "The gift horse of philosophical instruction," *Trends Cogn. Sci.*, in press (2004).

Dennett, D. and Kinsbourne, M. "Time and the observer," *Behavioral & Brain Sci.* 15:183–247 (1992).

Desimone, R. and Duncan, J. "Neural mechanisms of selective visual attention," *Ann. Rev. Neurosci.* **18**:193–222 (1995).

Desimone, R., Wessinger M., Thomas, L., and Schneider, W. "Attentional control of visual perception: Cortical and subcortical mechanisms," *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.* **55**:963–971 (1990).

Destrebecqz, A. and Cleeremans, A. "Can sequence learning be implicit? New evidence with the process dissociation procedure," *Psychonomic Bull. Rev.* **8**:343–350 (2001).

DeVries, S.H. and Baylor, D.A. "Mosaic arrangement of ganglion cell receptive fields in rabbit retina," *J. Neurophysiol.* **78**:2048–2060 (1997).

DeWeerd, P., Gattass, R., Desimone, R., and Ungerleider, L.G. "Responses of cells in monkey visual cortex during perceptual filling-in of an artificial scotoma," *Nature* **377**:731–734 (1995).

DeWeerd, P., Peralta, III M.R., Desimone, R., and Ungerleider, L.G. "Loss of attentional stimulus selection after extrastriate cortical lesions in macaques," *Nature Neurosci.* **2**:753–758 (1999).

DeYoe, E.A., Carman, G.J., Bandettini, P., Glickman, S., Wieser, J., Cox, R., Miller, D., and Neitz, J. "Mapping striate and extrastriate visual areas in human cerebral cortex," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **93**:2382–2386 (1996).

DiCarlo, J.J. and Maunsell, J.H.R. "Form representation in monkey inferotemporal cortex is virtually unaltered by free viewing," *Nature Neurosci.* **3**:814–821 (2000).

DiLollo, V., Enns, J.T., and Rensink, R.A. "Competition for consciousness among visual events: The psychophysics of reentrant visual processes," *J. Exp. Psychol. Gen.* **129**:481–507 (2000).

Ditterich, J., Mazurek, M.E., and Shadlen, M.N. "Microstimulation of visual cortex affects the speed of perceptual decisions," *Nature Neurosci.* **6**:891–898 (2003).

Di Virgilio, G. and Clarke, S. "Direct interhemisphere visual input to human speech areas," *Human Brain Map.* **5**:347–354 (1997).

Dmytryk, E. *On Film Editing: An Introduction to the Art of Film Construction.* Boston: Focal Press (1984).

Dobelle, W.H. "Artificial vision for the blind by connecting a television camera to the visual cortex," *Am. Soc. Artificial Internal Organs J.* **46**:3–9 (2000).

Dolan, R.J. "Emotion, cognition, and behavior," *Science* **298**:1191–1194 (2002).

Dosher, B. A. and Sperling, G. "A century of human information processing theory: Vision, attention, memory." In: *Perception and Cognition at Century's End.* Hochberg J., ed., pp. 201–254. New York: Academic Press (1998).

Douglas, R., Koch, C., Mahowald, M., Martin, K., and Suarez, H. "Recurrent excitation in neocortical circuits," *Science* **269**:981–985 (1995).

Dow, B.M. "Orientation and color columns in monkey visual cortex," *Cerebral Cortex* **12**:1005–1015 (2002).

Dowling, J.E. *The Retina: An Approachable Part of the Brain.* Cambridge, MA: Harvard University Press (1987).

Doyle, D.A., Cabral, J.M., Pfuetzner, R.A., Kuo, A., Gulbis, J.M., Cohen, S.L., Chait, B.T., and MacKinnon, R. "The structure of the potassium channel: Molecular basis of K^+ conduction and selectivity," *Science* **280**:69–77 (1998).

Dragoi, V., Sharma, J., and Sur, M. "Adaptation-induced plasticity of orientation tuning in adult visual cortex," *Neuron* **28**:287–298 (2000).

Dragunow, M. and Faull, R. "The use of c-fos as a metabolic marker in neuronal pathway tracing," *J. Neurosci. Methods*, **29**:261–265 (1989).

Driver, J. and Baylis, G.C. "Attention and visual object segmentation." In: *The Attentive Brain*. Parasurama R., ed., pp. 299–325. Cambridge, MA: MIT Press (1998).

Driver, J. and Mattingley, J.B. "Parietal neglect and visual awareness," *Nature Neurosci.* **1**:17–22 (1998).

Drummond, J.C. "Monitoring depth of anesthesia: With emphasis on the application of the bispectral index and the middle latency auditory evoked response to the prevention of recall," *Anesthesiology* **93**:876–882 (2000).

Dudai, Y. *The Neurobiology of Memory: Concepts, Findings, Trends.* New York: Oxford University Press (1989).

Duncan, J. "Selective attention and the organization of visual information," *J. Exp. Psychology: General* **113**:501–517 (1984).

Duncan, J. "Converging levels of analysis in the cognitive neuroscience of visual attention," *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* **353**:1307–1317 (1998).

Duncan, J. "An adaptive coding model of neural function in prefrontal cortex," *Nature Rev. Neurosci.* **2**:820–829 (2001).

Eagleman, D.M. and Sejnowski, T.J. "Motion integration and postdiction in visual awareness," *Science* **287**:2036–2038 (2000).

Ebner, A., Dinner, D.S., Noachtar, S., and Lüders, H. "Automatisms with preserved responsiveness: A lateralizing sign in psychomotor seizures," *Neurology* **45**:61–64 (1995).

Eccles, J.C. "Do mental events cause neural events analogously to the probability fields of quantum mechanics?" *Proc. Roy. Soc. Lond. B* **227**:411–428 (1986).

Eccles, J.C. *Evolution of the Brain: Creation of the Self.* London: Routledge (1988).

Eckhorn, R., Bauer, R., Jordan, W., Brosch, M., Kruse, W., Munk, M., and Reitböck, H.J. "Coherent oscillations: a mechanism of feature linking in the visual cortex?" *Biol. Cybern.* **60**:121–130 (1988).

Eckhorn, R., Frien, A., Bauer, R., Woelbern, T., and Kehr, H. "High frequency (60–90 Hz) oscillations in primary visual cortex of awake monkey," *Neuroreport* **4**:243–246 (1993).

Edelman, G.M. *The Remembered Present: A Biological Theory of Consciousness.* New York: Basic Books (1989).

Edelman, G.M. "Naturalizing consciousness: A theoretical framework," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **100**:5520–5524 (2003).

Edelman, G.M. and Tononi, G. *A Universe of Consciousness.* New York: Basic Books (2000).

Efron, R. "The duration of the present," *Annals New York Acad. Sci:* 138:713–729 (1967).

Efron, R. "The minimum duration of a perception," *Neuropsychologia* 8:57–63 (1970a).

Efron, R. "The relationship between the duration of a stimulus and the duration of a perception," *Neuropsychologia* 8:37–55 (1970b).

Efron, R. "An invariant characteristic of perceptual systems in the time domain," *Attention and Performance* 4:713–736 (1973a).

Efron, R. "Conservation of temporal information by perceptual systems," *Perception & Psychophysics* 14:518–530 (1973b).

Egeth, H.E. and Yantis, S. "Visual attention: Control, representation, and time course," *Ann. Rev. Psychol.* 48:269–297 (1997).

Eichenbaum, H. *The Cognitive Neuroscience of Memory*. New York: Oxford University Press (2002).

Ekstrom, A.D., Kahana, M.J., Caplan, J.B., Fields, T.A., Isham, E.A., Newman, E.L., and Fried, I. "Cellular networks underlying human spatial navigation," *Nature* 425:184–188 (2003).

Elger, C.E. "Semeiology of temporal lobe seizures." In: *Intractable Focal Epilepsy*. Oxbury, J., Polkey, C.E., and Duchowny, M., eds., pp. 63–68. Philadelphia: Saunders (2000).

Eliasmith, C. *How Neurons Mean: A Neurocomputational Theory of Representational Content*. Ph.D. Dissertation, Dept. of Philosophy, Washington University, St. Louis, MO (2000).

Ellenberger, H.F. *The Discovery of the Unconscious*. New York: Basic Books (1970).

Elston, G.N. "Pyramidal cells of the frontal lobe: All the more spinous to think with," *J. Neurosci.* 20:RC95 (1–4) (2000).

Elston, G.N. and Rosa, M.G.P. "The occipitoparietal pathway of the macaque monkey: Comparison of pyramidal cell morphology in layer III of functionally related cortical visual areas," *Cerebral Cortex* 7:432–452 (1997).

Elston, G.N. and Rosa, M.G.P. "Morphological variation of layer III pyramidal neurones in the occipitotemporal pathway of the macaque monkey visual cortex," *Cerebral Cortex* 8:278–294 (1998).

Elston, G.N., Tweedale, R., and Rosa, M.G.P. "Cortical integration in the visual system of the macaque monkey: Large-scale morphological differences in the pyramidal neurons in the occipital, parietal and temporal lobes," *Proc. R. Soc. Lond. B* 266:1367–1374 (1999).

Engel, A.K., Fries, P., König, P., Brecht, M., and Singer, W. "Temporal binding, binocular rivalry, and consciousness," *Consc. & Cognition* 8:128–151 (1999).

Engel, S.A., Glover, G.H., and Wandell, B.A. "Retinotopic organization in human visual cortex and the spatial precision of functional MRI," *Cerebral Cortex* 7:181–192 (1997).

Engel, A.K., König, P., Gray, C.M., and Singer, W. "Stimulus-dependent neuronal oscillations in cat visual cortex: Inter-columnar interaction as determined by cross-correlation analysis," *Eur. J. Neurosci.* 2:588–606 (1990).

Engel, A.K., König, P., Kreiter, A.K., and Singer, W. "Interhemispheric synchronization of oscillatory neuronal responses in cat visual cortex," *Science* 252:1177–1179 (1991).

Engel, A.K. and Singer, W. "Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness," *Trends Cogn. Sci.* 5:16–25 (2001).

Engel, S.A., Zhang, X., and Wandell, B.A. "Colour tuning in human visual cortex measured with functional magnetic resonance imaging," *Nature* 388:68–71 (1997).

Enns, J.T. and DiLollo, V. "What's new in visual masking," *Trends Cogn. Sci.* 4:345–352 (2000).

Enroth-Cugell, C. and Robson, J.G. "Functional characteristics and diversity of cat retinal ganglion cells," *Inv. Ophthalmol. Vis. Sci.* 25:250–267 (1984).

Epstein, R. and Kanwisher, N. "A cortical representation of the local visual environment," *Nature* 392:598–601 (1998).

Ermentrout, B.G. and Kleinfeld, D. "Traveling electrical waves in cortex: Insights form phase dynamics and speculation on a computational role," *Neuron* 29:33–44 (2001).

Fahle, M. "Figure-ground discrimination from temporal information," *Proc. R. Soc. Lond. B* 254:199–203 (1993).

Farah, M.J. *Visual Agnosia*. Cambridge, MA: MIT Press (1990).

Farber, I. and Churchland, P.S. "Consciousness and the neurosciences: Philosophical and theoretical issues." In: *The Cognitive Neurosciences*. 1st ed., Gazzaniga, M.S., ed., pp. 1295–1306. Cambridge, MA: MIT Press (1995).

Fearing, F. *Reflex Action*. Cambridge, MA: MIT Press (1970).

Feldman, M.H. "Physiological observations in a chronic case of locked-in syndrome," *Neurol.* 21:459–478 (1971).

Felleman, D.J. and Van Essen, D.C. "Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex," *Cerebral Cortex* 1:1–47 (1991).

Fendt, M. and Fanselow, M.S. "The neuroanatomical and neurochemical basis of conditioned fear," *Neurosci. & Biobehavioral Rev.* 23:743–760 (1999).

Ffytche, D.H., Guy, C.N., and Zeki, S. "Motion specific responses from a blind hemifield," *Brain* 119:1971–1982 (1996).

Ffytche, D.H., Howard, R.J., Brammer, M.J., David, A., Woodruff, P., and Williams, S. "The anatomy of conscious vision: An fMRI study of visual hallucinations," *Nature Neurosci.* 1:738–742 (1998).

Finger, S. *Origins of Neuroscience*. New York: Oxford University Press (1994).

Fiorani, M. Jr., Rosa, M.G.P., Gattass, R., and Rocha-Miranda, C.E. "Dynamic surrounds of receptive fields in primate striate cortex: A physiological basis for perceptual completion?" *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 89:8547–8551 (1992).

Flaherty, M.G. *A Watched Pot: How We Experience Time*. New York: University Press (1999).

Flanagan, O. *Consciousness Reconsidered*. Cambridge, MA: MIT Press (1992).

Flanagan, O. *Dreaming Souls*. New York: Oxford University Press (2000).

Flanagan, O. *The Problem of the Soul*. New York: Basic Books (2002).

Flohr, H. "NMDA receptor-mediated computational processes and phenomenal consciousness." In: *Neural Correlates of Consciousness: Empirical and Conceptual Questions*. Metzinger, T., ed., pp. 245–258. Cambridge, MA: MIT Press (2000).

Flohr, H., Glade, U., and Motzko, D. "The role of the NMDA synapse in general anesthesia," *Toxicology Lett.* **100**:23–29 (1998).

Foote, S.L., Aston-Jones, G., and Bloom, F.E. "Impulse activity of locus coeruleus neurons in awake rats and monkeys is a function of sensory stimulation and arousal," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 77:3033–3037 (1980).

Foote, S.L. and Morrison, J.H. "Extrathalamic modulation of cortical function," *Ann. Rev. Neurosci.* **10**:67–95 (1987).

Forster, E.M. and Whinnery, J.E. "Recovery from G_z-induced loss of consciousness: Psychophysiologic considerations," *Aviation, Space, Env. Med.* 59:517–522 (1988).

Frank, L.M., Brown, E.N., and Wilson, M. "Trajectory encoding in the hippocampus and entorhinal cortex," *Neuron* 27:169–178 (2000).

Franks, N.P. and Lieb, W.R. "Molecular and cellular mkechanisms of general anesthesia," *Nature* 367:607–614 (1994).

Franks, N.P. and Lieb, W.R. "The molecular basis of general anesthesia: Current ideas." In: *Toward a Science of Consciousness II*. Hameroff, S.R., Kaszniak, A.W., and Scott, A.C., eds., pp.443–457. Cambridge, MA: MIT Press (1998).

Franks, N.P. and Lieb, W.R. "The role of NMDA receptors in consciounsess: What can we learn from anesthetic mechanisms?" In: *Neural Correlates of Consciousness: Empirical and Conceptual Questions*. Metzinger, T., ed., pp. 265–269. Cambridge, MA: MIT Press (2000).

Franz, V.H., Gegenfurtner, K.R., Bülthoff, H.H., and Fahle, M. "Grasping visual illusions: No evidence for a dissociation between perception and action," *Psychol. Sci.* 11:20–25 (2000).

Freedman, D.J., Riesenhuber, M., Poggio, T., and Miller, E.K. "Categorical representation of visual stimuli in the primate prefrontal cortex," *Science* **291**:312–316 (2001).

Freedman, D.J., Riesenhuber, M., Poggio, T., and Miller, E.K. "Visual categorization and the primate prefrontal cortex: Neurophysiology and behavior," *J. Neurophysiol.* **88**:929–941 (2002).

Freeman, W.J. *Mass Action in the Nervous System*. New York: Academic Press (1975).

Freud, S. "Das Unbewusste," *Int. Zeitschrift Psychoanal.* 3(4):189–203 and 3(5):257–269 (1915).

Freud, S. *The Standard Edition of the Complete Psychological Works of Sigmund Freund*, Vol. 1: 1886–1899. Strachey, J., ed., London: The Hogart Press (1966).

Freund, T.F. and Buzsáki, G. "Interneurons in the hippocampus," *Hippocampus* 6:347–470 (1996).

Fried, I. "Auras and experiental responses arising in the temporal lobe." In: *The Neuropsychiatry of Limbic and Subcortical Disorders*. Salloway S., Malloy P., and Cummings J.L., eds., pp. 113–122. Washington, DC: American Psychiatric Press (1997).

Fried, I., Wilson, C.L., MacDonald, K.A., and Behnke, E.J. "Electric current stimulates laughter," *Nature* 391:650 (1998).

Friedman-Hill, S., Maldonado, P.E., and Gray, C.M. "Dynamics of striate cortical activity in the alert macaque: I. Incidence and stimulus-dependence of gamma-band neuronal oscillations," *Cerebral Cortex* **10**:1105–1116 (2000).

Fries, P., Neuenschwander, S., Engel, A.K., Goebel, R., and Singer, W. "Rapid feature selective neuronal synchronization through correlated latency shifting," *Nature Neurosci.* 4:194–200 (2001a).

Fries, P., Reynolds, J.H., Rorie, A.E., and Desimone, R. "Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention," *Science* 291:1560–1563 (2001b).

Fries, P., Schröder, J.-H., Singer, W., and Engel, A.K. "Conditions of perceptual selection and suppression during interocular rivalry in strabismic and normal cats," *Vision Res.* 41:771–783 (2001c).

Fries, W. "Pontine projection from striate and prestriate visual cortex in the macaque monkey: An anterograde study," *Vis. Neurosci.* 4:205–216 (1990).

Fries, P., Roelfsema, P.R., Engel, A.K., König, P., and Singer, W. "Synchronization of oscillatory responses in visual cortex correlates with perception in interocular rivalry," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94:12699–12704 (1997).

Frith, C.D. "The role of prefrontal cortex in self-consciousness: The case of auditory hallucinations," *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. B* 351:1505–1512 (1996).

Fuster, J.M. "Unit activity in prefrontal cortex during delayed-response performance: Neuronal correlates of transient memory," *J. Neurophysiol.* 36:61–78 (1973).

Fuster, J.M. *Memory in the Cerebral Cortex.* Cambridge, MA: MIT Press (1995).

Fuster, J.M. *The Prefrontal Cortex: Anatomy, Physiology, and Neuropsychology of the Frontal Lobe.* 3rd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven (1997).

Fuster, J.M. "Executive frontal functions," *Exp. Brain Res.* 133:66–70 (2000).

Gail, A., Brinksmeyer, H.J., and Eckhorn, R. "Perception-related modulations of local field potential power and coherence in primary visual cortex of awake monkey during binocular rivalry," *Cerebral Cortex*, in press (2004).

Galambos, R., Makeig, S., and Talmachoff, P.J. "A 40-Hz auditory potential recorded from the human scalp," *Proc. Natl. Acad. Sci.* 78:2643–2647 (1981).

Galin, D. "The structure of awareness: Contemporary applications of William James' forgotten concept of 'the fringe'," *J. Mind & Behavior* 15:375–402 (1997).

Gallant, J.L., Connor, C.E., and Van Essen, D.C. "Neural activity in areas V1, V2 and V4 during free viewing of natural scenes compared to controlled viewing," *Neuroreport* 9:2153–2158 (1997).

Gallant, J.L., Shoup, R.E., and Mazer, J.A. "A human extrastriate area functionally homologous to macaque V4," *Neuron* 27:227–235 (2000).

Gallistel, C.R. *The Organization of Learning.* Cambridge, MA: MIT Press (1990).

Gandhi, S.P., Heeger, D.J., and Boynton, G.M. "Spatial attention affects brain activity in human primary visual cortex," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96:3314–3319 (1999).

Gangestad, S.W., Thornhill, R., and Garver, C.E. "Changes in women's sexual interests and their partners' mate-retention tactics across the menstrual cycle: Evidence for shifting conflicts of interest," *Proc. Roy. Soc. Lond. B* 269:975–982 (2002).

Gawne, T.J. and Martin, J.M. "Activity of primate V1 cortical neurons during blinks," *J. Neurophysiol.* **84**:2691–2694 (2000).

Gazzaniga, M.S. "Principles of human brain organization derived from split-brain studies," *Neuron* **14**:217–228 (1995).

Gegenfurtner, K. R. and Sperling, G. "Information transfer in iconic memory experiments," *J. Exp. Psychol.* **19**:845–866 (1993).

Geissler, H.G., Schebera, F.U., and Kompass, R. "Ultra-precise quantal timing: evidence from simultaneity thresholds in long-range apparent movement," *Percept. Psychophys.* **61**:707–726 (1999).

Gershon, M.D. *The Second Brain: The Scientific Basis of Gut Instinct.* New York: Harper Collins (1998).

Geschwind, N. and Galaburda, A.M. *Cerebral Laterization.* Cambridge, MA: MIT Press (1987).

Gho, M. and Varela, F.J. "A quantitative assessment of the dependency of the visual temporal frame upon the cortical rhythm," *J. Physiol. Paris* **83**:95–101 (1988).

Ghose, G.M. and Maunsell, J.H.R. "Attentional modulation in visual cortex depends on task timing," *Nature* **419**:616–620 (2002).

Giacino, J.T. "Disorders of consciousness: Differential diagnosis and neuropathologic features," *Seminars Neurol.* **17**:105–111 (1997).

Gibson, J.J. *The Senses Considered as a Perceptual System.* Boston: Houghton Mifflin (1966).

Gibson, J.R., Beierlein, M., and Connors, B.W. "Two networks of electrically coupled inhibitory neurons in neocortex," *Nature* **402**:75–79 (1999).

Gladwell, M. "Wrong turn," *The New Yorker*, June 11, 50–61 (2001).

Glickstein, M. "How are visual areas of the brain connected to motor areas for the sensory guidance of movement?" *Trends Neurosci.* **23**:613–617 (2000).

Gloor, P. "Consciousness as a neurological concept in epileptology: A critical review," *Epilepsia* **27 (Suppl 2)**:S14–S26 (1986).

Gloor, P., Olivier A., and Ives J. "Loss of consciousness in temporal lobe seizures: Observations obained with stereotaxic depth electrode recordings and stimulations." In: *Adv. in Epileptology: 11th Epilepsy Intl. Symposium.* Canger, R., Angeleri, F., and Penry, J.K., eds., pp. 349–353. New York: Raven Press (1980).

Goebel, R., Khorram-Sefat, D., Muckli, L., Hacker, H., and Singer, W. "The constructive nature of vision: Direct evidence from functional magnetic resonance imaging studies of apparent motion and motion imagery," *Eur. J. Neurosci.* **10**:1563–1573 (1998).

Gold, J.L. and Shadlen, M.N. "Banburismus and the brain: Decoding the relationship between sensory stimuli, decisions, and reward," *Neuron* **36**:299–308 (2002).

Goldberg, E. *The Executive Brain: Frontal Lobes and the Civilized Mind.* New York: Oxford University Press (2001).

Goldman-Rakic, P.S. "Architecture of the prefrontal cortex and the central executive," *Annals New York Acad. Sci.* **769**:71–83 (1995).

Goldman-Rakic, P.S., Scalaidhe, S.P.O., and Chafee, M.W. "Domain specificity in cognitive systems." In: *The New Cognitive Neurosciences*. 2nd ed., Gazzaniga, M.S., ed., pp. 733–742. Cambridge, MA: MIT Press (2000).

Goldstein, K. and Gelb, A. "Psychologische Analysen hirnpathologischer Fälle auf Grund von Untersuchungen Hirnverletzter. I Zur Psychologie des optische Wahrnehmungs-und Erkennungsvorganges," *Z. Neurologie & Psychiatrie* **41**:1–142 (1918).

Goodale, M.A. "Perception and action in the human visual system." In: *The New Cognitive Neurosciences*. 2nd ed., Gazzaniga, M.S., ed., pp. 365–377. Cambridge, MA: MIT Press (2000).

Goodale, M.A., Jakobson, L.S., and Keillor, J.M. "Differences in the visual control of pantomimed and natural grasping movements," *Neuropsychologia* **32**:1159–1178 (1994).

Goodale, M.A. and Milner, A.D. *Sight Unseen*. Oxford, UK: Oxford University Press (2004).

Goodale, M.A., Pélisson, D., and Prablanc, C. "Large adjustments in visually guided reaching do not depend on vision of the hand or perception of target displacement," *Nature* **320**:748–750 (1986).

Gordon, H. W. and Bogen, J.E. "Hemispheric lateralization of singing after intracarotid sodium amylobarbitone," *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* **37**:727–738 (1974).

Gottlieb, J.P., Kusunoki, M., and Goldberg, M.E. "The representation of visual salience in monkey parietal cortex," *Nature* **391**:481–484 (1998).

Gowdy, P.D., Stromeyer, C.F. III, and Kronauer, R.E. "Detection of flickering edges: Absence of a red-green edge detector," *Vision Res.* **39**:4186–4191 (1999).

Grafman, J., Holyoak, K.J., and Boller, F., eds. *Structure and Function of the Human Prefrontal Cortex. Annals New York Acad. Sci.* **769** (1995).

Granon, S., Faure, P., and Changeux, J.P. "Executive and social behaviors under nicotinic receptor regulation," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **100**:9596–9601 (2003).

Gray, C.M. "The temporal correlation hypothesis of visual feature integration: Still alive and well," *Neuron* **24**:31–47 (1999).

Gray, C.M., König, P., Engel, A.K., and Singer, W. "Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties," *Nature* **338**:334–337 (1989).

Gray, C.M. and Singer, W. "Stimulus-specific neuronal oscillations in orientation columns of cat visual cortex," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **86**:1698–1702 (1989).

Graziano, M.S.A., Taylor, C.R.S., and Moore, T. "Complex movements evoked by microstimulation of precentral cortex," *Neuron* **34**:841–851 (2002).

Greenfield, S.A. *Journeys to the Centers of the Mind. Toward a Science of Consciousness.* New York: W.H. Freeman (1995).

Gregory, R.L. "Cognitive contours," *Nature* **238**:51–52 (1972).

Gregory, R.L. *Eye and Brain: The Psychology of Seeing*. 5th ed. Princeton, NJ: Princeton University Press (1997).

Grieve, K.L., Acuna, C., and Cudeiro, J. "The primate pulvinar nuclei: Vision and action," *Trends Neurosci.* 23:35–38 (2000).

Griffin, D.R. *Animal Minds: Beyond Cognition to Consciousness.* Chicago, IL: University of Chicago Press (2001).

Griffin, D.R. and Speck, G.B. "New evidence of animal consciousness," *Animal Cognition*, in press (2004).

Grimes, J. "On the failure to detect changes in scenes across saccades." In: *Perception (Vancouver Studies in Cognitive Science, Vol. 2).* Akins, K., ed., pp. 89–110. Oxford, UK: Oxford University Press (1996).

Gross, C.G. *Brain, Vision, Memory: Tales in the History of Neuroscience.* Cambridge, MA: MIT Press (1998).

Gross, C.G. "Genealogy of the 'Grandmother cell'," *Neuroscientist* 8:512–518 (2002).

Gross, C.G., Bender, D.B., and Rocha-Miranda, C.E. "Visual receptive fields of neurons in inferotemporal cortex of the monkey," *Science* 166:1303–1306 (1969).

Gross, C.G. and Graziano, M.S.A. "Multiple representations of space in the brain," *Neuroscientist* 1:43–50 (1995).

Gross, C.G., Rocha-Miranda C.E., and Bender D.B. "Visual properties of neurons in inferotemporal cortex of the macaque," *J. Neurophysiol.* 35:96–111 (1972).

Grossberg, S. "The link between brain learning, attention, and consciousness," *Conscious. Cogn.* 8:1–44 (1999).

Grossenbacher, P.G. and Lovelace, C.T. "Mechanisms of synaesthesia: Cognitive and physiological constraints," *Trends Cogn. Sci.* 5:36–41 (2001).

Grossmann, R.G. "Are current concepts and methods in neuroscience inadequate for studying the neural basis of consciosuness and mental activity?" In: *Information Processing in the Nervous System*, Pinsker, H.M. and Willis, W.D. Jr., eds. New York: Raven Press (1980).

Grunewald, A., Bradley, D.C., and Andersen, R.A. "Neural correlates of structure-from-motion perception in macaque V1 and MT," *J. Neurosci.* 22:6195–6207 (2002).

Grush, R. and Churchland, P.S. "Gaps in Penrose's toiling," *J. Consc. Studies* 2:10–29 (1995).

Grüsser, O.J. and Landis, T. *Visual Agnosias and Other Disturbances of Visual Perception and Cognition.* Houndmills, UK: MacMillan Press (1991).

Guilleminault, C. "Cataplexy." In: *Narcolepsy.* Guilleminault, C., Dennet, W.C., and Passouant, P. eds., pp. 125–143. New York: Spectrum (1976).

Gur, M. and Snodderly, D.M. "A dissociation between brain activity and perception: Chromatically opponent cortical neurons signal chromatic flicker that is not perceived," *Vision Res.* 37:377–382 (1997).

Haarmeier, T., Thier, P., Repnow, M., and Petersen, D. "False perception of motion in a patient who cannot compensate for eye movements," *Nature* 389:849–852 (1997).

Hadamard, J. *The Mathematician's Mind.* Princeton, NJ: Princeton University Press (1945).

Hadjikhani, N., Liu, A.K., Dale, A.M., Cavanagh, P., and Tootell, R.B. "Retinotopy and color sensitivity in human visual cortical area V8," *Nature Neurosci.* 1:235–241 (1998).

Hahnloser, R.H.R., Kozhevnikov, A.A., and Fee, M.S. "An ultra-sparse code underlies the generation of neural sequences in a songbird," *Nature* 419:65–70 (2002).

Haines, R.F. "A breakdown in simultaneous information processing." In: *Presbyopia Research: From Molecular Biology to Visual Adaptation.* Obrecht, G. and Stark, L., eds., pp. 171–175. New York: Plenum Press (1991).

Hameroff, S.R. and Penrose, R. "Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules: A model for consciousness." In: *Toward a Science of Consciousness.* Hameroff, S.R., Kaszniak, A.W., and Scott, A.C., eds., pp. 507–540. Cambridge, MA: MIT Press (1996).

Hamker, F.H. "A dynamic model of how feature cues guide spatial attention," *Vision Res.*, in press (2004).

Hamker F.H. and Worcester, J. "Object detection in natural scenes by feedback." In: *Biologically Motivated Computer Vision. Lecture Notes in Computer Science.* Büelthoff, H.H., ed., pp. 398–407. Berlin: Springer (2002).

Han, C.J., O'Tuathaigh, C.M., van Trigt, L., Quinn, J.J., Fanselow, M.S., Mongeau, R., Koch, C., and Anderson, D.J. "Trace but not delay fear conditioning requires attention and the anterior cingulate cortex," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 100:13087–13092 (2003).

Hardcastle, V.G. "Attention versus consciousness." In: *Neural Basis of Consciousness.* Osaka N., ed., pp. 105–121. Amsterdam, Netherlands: John Benjamins (2003).

Hardin, C.L. *Color for Philosophers: Unweaving the Rainbow.* Indianapolis, IN: Hackett Publishing Company (1988).

Harris, K.D., Csicsvar, J., Hirase, H., Dragoi, G., and Buzsáki, G. "Organization of cell assembles in the hippocampus," *Nature* 424:552–556 (2003).

Harrison, R.V., Harel, N., Panesar, J., and Mount, R.J. "Blood capillary distribution correlates with hemodynamic-based functional imaging in cerebral cortex," *Cerebral Cortex* 12:225–233 (2002).

Harter, M.R., "Excitability cycles and cortical scanning: A review of two hypotheses of central intermittency in perception," *Psychol. Bull.* 68:47–58 (1967).

Haxby, J.V., Gobbini, M.I., Furey, M.L., Ishai, A., Schouten, J.L., and Pietrini, P. "Distributed and overlapping representations of faces and objects in ventral temporal cortex," *Science* 293:2425–2430 (2001).

Haxby, J.V., Hoffman, E.A., and Gobbini, M.I. "The distributed human neural system for face perception," *Trends Cogn. Sci.* 4:223–233 (2000).

He, S., Cavanagh, P., and Intrilligator, J. "Attentional resolution and the locus of visual awareness," *Nature* 383:334–337 (1996).

He, S., Cohen, E.R., and Hu, X. "Close correlation between activity in brain area MT/V5 and the perception of a visual motion aftereffect," *Curr. Biol.* 8:1215–1218 (1998).

He, S. and MacLeod, D.I.A. "Orientation-selective adaptation and tilt aftereffect from invisible patterns," *Nature* 411:473–476 (2001).

Hebb, D.O. *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory.* New York: Wiley (1949).

Heeger, D.J., Boynton, G.M., Demb, J.B., Seideman, E., and Newsome, W.T. "Motion opponency in visual cortex," *J. Neurosci.* 19:7162–7174 (1999).

Heeger, D.J., Huk, A.C., Geisler, W.S., and Albrecht, D.G. "Spikes versus BOLD: What does neuroimaging tell us about neuronal activity," *Nature Neurosci.* 3:631–633 (2000).

Heilman, K.M., Watson, R.T., and Valenstein, E. "Neglect and related disorders." In: *Clinical Neuropsychology.* 4th ed., Heilman, K.M. and Valenstein, E., eds., pp. 296–346. New York: Oxford University Press (2003).

Heinemann, S.H., Terlau, H., Stühmer, W., Imoto, K., and Numa, S. "Calcium-channel characteristics conferred on the sodium-channel by single mutations," *Nature* 356:441–443 (1992).

Heisenberg, M. and Wolf, R. *Vision in Drosophila: Genetics of Microbehavior. Studies in Brain Function, Vol. 12.* Heidelberg, Germany: Springer (1984).

Herrigel, E. *Zen in the Art of Archery.* New York: Pantheon Books (1953).

Herzog, M. and Koch, C. "Seeing properties of an invisible object: Feature inheritance and shine-through," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98:4271–4275 (2001).

Herzog, M., Parish, L., Koch, C., and Fahle, M. "Fusion of competing features is not serial," *Vision Res.* 43:1951–1960 (2003).

Hess, R.H., Baker, C.L., and Zihl, J. "The motion-blind patient: Low-level spatial and temporal filters," *J. Neurosci.* 9:1628–1640 (1989).

Heywood, C.A. and Zihl, J. "Motion blindness." In: *Case Studies in the Neuropsychology of Vision.* Humphreys, G.W., ed., pp. 1–16. Psychology Press (1999).

Hilgetag, C.-C., O'Neill, M.A., and Young, M.P. "Indeterminate organization of the visual system," *Science* 271: 776–777 (1996).

Hille, B. *Ionic Channels of Excitable Membranes.* 3rd ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates: (2001).

Hirsh, I.J. and Sherrick, C.E. "Perceived order in different sense modalities," *J. Exp. Psychol.* 62:423–432 (1961).

Hobson, J.A. *Sleep.* New York: Scientific American Library, Freeman (1989).

Hobson, J.A. *Consciousness.* New York: Scientific American Library, Freeman (1999).

Hobson, J.A., Stickgold, R., and Pace-Schott, E.F. "The neurophysiology of REM sleep dreaming," *Neuroreport* 9:R1–R14 (1998).

Hochstein, S. and Ahissar, M. "View from the top: Hierarchies and reverse hierarchies in the visual system," *Neuron* 36:791–804 (2002).

Hofstötter, C., Koch, C., and Kiper, D.C. "Absence of high-level contributions to the formation of afterimages," *Soc. Neurosci. Abstr.*, 819:24 (2003).

Holender, D. "Semantic activation without conscious identification in dichotic listening, parafoveal vision, and visual masking: A survey and appraisal," *Behav. Brain Sci.* 9:1–23 (1986).

Holt, G.R. and Koch, C. "Electrical interactions via the extracellular potential near cell bodies," *J. Computat. Neurosci.* 6:169–184 (1999).

Holy, T.E., Dulac, C., and Meister, M. "Responses of vomeronasal neurons to natural stimuli," *Science* 289:1569–1572 (2000).

Horgan, J. *The End of Science.* Reading, MA: Addison-Wesley (1996).

Horton, J.C. and Hedley-Whyte, E.T. "Mapping of cytochrome oxidase patches and ocular dominance columns in human visual cortex," *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. B* 304:255–272 (1984).

Horton, J.C. and Hoyt, W.F. "The representation of the visual field in human striate cortex," *Arch. Opthalmology* 109:816–824 (1991a).

Horton, J.C. and Hoyt, W.F. "Quadratic visual field defects: A hallmark of lesions in extrastriate (V2/V3) cortex," *Brain* 114:1703–1718 (1991b).

Hu, Y. and Goodale, M.A. "Grasping after a delay shifts size-scaling from absolute to relative metrics," *J. Cogn. Neurosci.* 12:856–868 (2000).

Hubel, D.H. *Eye, Brain, and Vision.* New York: Scientific American Library (1988).

Hubel, D.H. and Wiesel, T.N. "Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex," *J. Physiol.* 148:574–591 (1959).

Hubel, D.H. and Wiesel, T.N. "Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex," *J. Physiol.* 160:106–154 (1962).

Hubel, D.H. and Wiesel, T.N. "Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex," *J. Physiol.* 195:215–243 (1968).

Hübener M., Shoham, D., Grinvald, A., and Bonhoeffer, T. "Spatial relationships among three columnar systems in cat area 17," *J. Neurosci.* 17:9270–9284 (1997).

Huerta, M.F., Krubitzer, L.A., and Kaas, J.H. "Frontal eye field as defined by intracortical microstimulation in squirrel monkeys, owl monkeys and macaque monkeys: I. Subcortical connections," *J. Comp. Neurol.* 253:415–439 (1986).

Huk, A.C., Ress, D., and Heeger, D.J. "Neuronal basis of the motion aftereffect reconsidered," *Neuron* 32:161–172 (2001).

Hunter, J. and Jasper, H.H. "Effects of thalamic stimulation in unanesthetized cats," *EEG Clin. Neurophysiol.* 1:305–315 (1949).

Hupe, J.M., James, A.C., Payne, B.R., Lomber, S.G., Girard, P., and Bullier, J. "Cortical feedback improves discrimination between figure and background by V1, V2, and V3 neurons," *Nature* 394:784–787 (1998).

Husain, M. and Rorden, C. "Non-spatially lateralized mechanisms in hemispatial neglect," *Nature Rev. Neurosci.* 4:26–36 (2003).

Huxley, T.H. *Animal Automatism, and Other Essays.* Humboldt Library of Popular Science Literature. New York: J. Fitzgerald (1884).

Ilg, U.J. and Thier, P. "Inability of rhesus monkey area V1 to discriminate between self-induced and externally induced retinal image slip," *Eur. J. Neurosci.* 8:1156–1166 (1996).

Inoue, Y. and Mihara, T. "Awareness and responsiveness during partial seizures," *Epilepsia* 39:7–10 (1998).

Ishai, A., Ungerleider, L.G., Martin, A., and Haxby, J.V. "The representation of objects in the human occipital and temporal cortex," *J. Cogn. Neurosci.* 12 (Suppl. 2):35–51 (2000).

Ito, M. and Gilbert, C.D. "Attention modulates contextual influences in the primary visual cortex of alert monkeys," *Neuron* 22:593–604 (1999).

Ito, M., Tamura, H., Fujita, I., and Tanaka, K. "Size and position invariance of neuronal responses in monkey inferotemporal cortex," *J. Neurophysiol.* 73:218–226 (1995).

Itti, L. and Koch, C. "A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention," *Vision Res.* 40:1489–1506 (2000).

Itti, L. and Koch, C. "Computational modeling of visual attention," *Nature Rev. Neurosci.* 2:194–204 (2001).

Itti, L., Koch, C., and Niebur, E. "A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis," *IEEE Trans. Pattern Analysis & Machine Intell. (PAMI)* 20:1254–1259 (1998).

Jackendoff, R. *Consciousness and the Computational Mind.* Cambridge, MA: MIT Press (1987).

Jackendoff, R. "How language helps us think," *Pragmatics & Cognition* 4:1–34 (1996).

Jacobson, A., Kales, A., Lehmann, D., and Zweizig, J.R. "Somnambulism: All-night electroencephalographic studies," *Science* 148:975–977 (1965).

Jacoby, L.L. "A process dissociation framework: Separating automatic from intentional uses of memory," *J. Memory Lang.* 30:513–541 (1991).

James, W. *The Principles of Psychology.* New York: Dover Publications (1890).

James, W. *Psychology: Briefer Course.* New York: Collier Books (1962).

Jameson, K.A., Highnote, S.M., and Wasserman, L.M. "Richer color experience in observers with multiple photopigment opsin genes," *Psychonomic Bulletin & Rev.* 8:244–261 (2001).

Järvilehto, T. "The theory of the organism-environment system: IV. The problem of mental activity and consciousness," *Int. Physiol. Behav. Sci.* 35:35–57 (2000).

Jasper, H.H. "Sensory information and conscious experience," *Adv. Neurol.* 77:33–48 (1998).

Jaynes, J. *The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind.* Boston: Houghton Mifflin (1976).

Jeannerod, M. *The Cognitive Neuroscience of Action.* Oxford, UK: Blackwell (1997).

Johnson, R.R. and Burkhalter, A. "A polysynaptic feedback circuit in rat visual cortex," *J. Neurosci.* 17:129–140 (1997).

Johnson-Laird, P.N. "A computational analysis of consciousness," *Cognition & Brain Theory* 6:499–508 (1983).

Johnston, R.W. "Pheromones, the vomeronasal system, and communication." In: *Olfaction and Taste XII: An International Symposium*. Murphy, C., ed., pp. 333–348. *Annals New York Acad. Sci.* 855 (1998).

Jolicoeur, P., Ullman, S., and MacKay, M. "Curve tracing: A possible basic operation in the perception of spatial relations," *Mem. Cognition* 14:129–140 (1986).

Jones, E.G. *The Thalamus*. New York: Plenum Press (1985).

Jones, E.G. "Thalamic organization and function after Cajal," *Progress Brain Res.* 136:333–357 (2002).

Jordan, G. and Mollon, J.D. "A study of women heterozygous for color deficiences," *Vision Res.* 33:1495–1508 (1993).

Jovicich, J., Peters, R.J., Koch, C., Braun, J., Chang, L., and Ernst, T. "Brain areas specific for attentional load in a motion tracking task," *J. Cogn. Neurosci.* 13:1048–1058 (2001).

Judson, H.J. *The Eighth Day of Creation*. London: Penguin Books (1979).

Julesz, B. *Foundations of Cyclopean Perception*. Chicago, IL: University of Chicago Press (1971).

Julesz, B. "Textons, the elements of texture perception, and their interactions," *Nature* 290:91–97 (1981).

Kahana, M.K., Sekuler, R., Caplan, J.B., Kirschen, M., and Madsen, J.R. "Human theta oscillations exhibit task dependence during virtual maze navigation," *Nature* 399:781–784 (1999).

Kamitani, Y. and Shimojo, S. "Manifestation of scotomas created by transcranial magnetic stimulation of human visual cortex," *Nature Neurosci.* 2:767–771 (1999).

Kandel, E.R. "A new intellectual framework for psychiatry," *Am. J. Psychiatry* 155:457–469 (1998).

Kandel, E.R. "The molecular biology of memory storage: A dialogue between genes and synapses," *Science* 294:1030–1038 (2001).

Kanizsa, G. *Organization in Vision: Essays in Gestalt Perception*. New York: Praeger (1979).

Kanwisher, N. and Driver, J. "Objects, attributes, and visual attention: Which, what and where," *Curr. Direct. Psychol. Sci.* 1:26–31 (1997).

Kanwisher, N., McDermott, J., and Chun, M.M. "The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception," *J. Neurosci.* 17:4302–4311 (1997).

Kaplan, E. "The receptive field structure of retinal ganglion cells in cat and monkey." In: *The Neural Basis of Visual Function*. Leventhal, A.G., ed., pp. 10–40. Boca Raton, FL: CRC Press (1991).

Kaplan-Solms, K. and Solms M. *Clinical Studies in Neuro-Psychoanalysis*. London: Karnac Books (2000).

Karnath, H.-O. "New insights into the functions of the superior temporal cortex," *Nature Rev. Neurosci.* 2:568–576 (2001).

Karnath, H.-O., Ferber, S., and Himmelbach, M. "Spatial awareness is a function of the temporal, not the posterior parietal lobe," *Nature* 411:950–954 (2001).

Kastner, S., De Weerd, P., Desimone, R., and Ungerleider, L.G. "Mechanisms of directed attention in the human extrastriate cortex as revealed by functional MRI," *Science* 282:108–111 (1998).

Kastner, S. and Ungerleider, L.G. "Mechanisms of visual attention in the human cortex," *Ann. Rev. Neurosci.* 23:315–341 (2000).

Kavey, N.B., Whyte, J., Resor, S.R. Jr., and Gidro-Frank, S. "Somnambulism in adults," *Neurol.* 40:749–752 (1990).

Keil, A., Müller, M.M., Ray, W.J., Gruber, T., and Elbert, T. "Human gamma band activity and perception of a gestalt," *J. Neurosci.* 19:7152–7161 (1999).

Keller, E.F. *The Century of the Gene.* Cambridge, MA: Harvard University Press (2000).

Kennedy, H. and Bullier, J. "A double-labelling investigation of the afferent connectivity to cortical areas V1 and V2," *J. Neurosci.* 5:2815–2830 (1985).

Kentridge, R.W., Heywood, C.A., and Weiskrantz, L. "Residual vision in multiple retinal locations within a scotoma: Implications for blindsight," *J. Cogn. Neurosci.* 9:191–202 (1997).

Kentridge, R.W., Heywood, C.A., and Weiskrantz, L. "Attention without awareness in blindsight," *Proc. Roy. Soc. Lond. B* 266:1805–1811 (1999).

Kessel, R.G. and Kardon, R.H. *Tissues and Organs: A Text-Atlas of Scanning Electron Microscopy.* San Francisco, CA: Freeman (1979).

Keverne, E.B. "The vomeronasal organ," *Science* 286:716–720 (1999).

Keysers, C. and Perrett, D.I. "Visual masking and RSVP reveal neural competition," *Trends Cogn. Sci.* 6:120–125 (2002).

Keysers, C., Xiao, D.-K., Földiák, P., and Perrett, D.I. "The speed of sight," *J. Cogn. Neurosci.* 13:1–12 (2001).

Kinney, H.C., Korein, J., Panigrahy, A., Dikkes, P., and Goode, R. "Neuropathological findings in the brain of Karen Ann Quinlan," *New England J. Med.* 330:1469–1475 (1994).

Kinomura, S., Larsson, J., Gulyás, B., and Roland, P.E. "Activation by attention of the human reticular formation and thalamic intralaminar nuclei," *Science* 271:512–515 (1996).

Kirk, R. "Zombies versus materialists," *Aristotelian Society* 48 (suppl.):135–152 (1974).

Kitcher, P. *Freud's Dream: A Complete Interdisciplinary Science of Mind.* Cambridge, MA: MIT Press (1992).

Kleinschmidt, A., Buchel, C., Zeki, S., and Frackowiak, R.S.J. "Human brain activity during spontaneously reversing perception of ambiguous figures," *Proc. R. Soc. Lond. B* 265:2427–2433 (1998).

Klemm, W.R., Li, T.H., and Hernandez, J.L. "Coherent EEG indicators of cognitive binding during ambigious figure tasks," *Consc. & Cognition* 9:66–85 (2000).

Klimesch, W. "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis," *Brain Res. Rev.* 29:169–195 (1999).

Knuttinen, M.-G., Power, J.M., Preston, A.R., and Disterhoft, J.F. "Awareness in classical differential eyeblink conditioning in young and aging humans," *Behav. Neurosci.* 115:747–757 (2001).

Kobatake, E., Wang, G., and Tanaka, K. "Effects of shape-discrimination training on the selectivity of inferotemporal cells in adult monkeys," *J. Neurophysiol.* 80:324–330 (1998).

Koch, C. "The action of the corticofugal pathway on sensory thalamic nuclei: A hypothesis," *Neurosci.* 23:399–406 (1987).

Koch, C. "Visual awareness and the thalamic intralaminar nuclei," *Consc. & Cognition* 4:163–165 (1995).

Koch, C. *Biophysics of Computation.* New York: Oxford University Press (1999).

Koch, C. and Crick, F.C. "Some further ideas regarding the neuronal basis of awareness." In: *Large-Scale Neuronal Theories of the Brain.* Koch, C. and Davis, J., eds., pp. 93–110, Cambridge, MA: MIT Press (1994).

Koch, C. and Laurent, G. "Complexity and the nervous system," *Science* 284:96–98 (1999).

Koch, C. and Tootell, R.B. "Stimulating brain but not mind," *Nature* 383:301–303 (1996).

Koch, C. and Ullman, S. "Shifts in selective visual attention: Towards the underlying neural circuitry," *Human NeuroBiol.* 4:219–227 (1985).

Koffka, K. *Principles of Gestalt Psychology.* New York: Hartcourt (1935).

Kohler, C.G., Ances, B.M., Coleman, A.R., Ragland, J.D., Lazarev, M., and Gur, R.C. "Marchiafava-Bignami di ease: Literature review and case report," *Neuropsychiatry, Neuropsychol. Behav. Neurol.* 13:67–76 (2000).

Köhler, W. *The Task of Gestalt Psychology.* Princeton, NJ: Princeton University Press (1969).

Kolb, F.C. and Braun, J. "Blindsight in normal observers," *Nature* 377:336–338 (1995).

Komatsu, H., Kinoshita, M., and Murakami, I. "Neural responses in the retinotopic representation of the blind spot in the macaque V1 to stimuli for perceptual filling-in," *J. Neurosci.* 20:9310–9319 (2000).

Komatsu, H. and Murakami, I. "Behavioral evidence of filling-in at the blind spot of the monkey," *Vis. Neurosci.* 11:1103–1113 (1994).

Konorski, J. *Integrative Activity of the Brain.* Chicago, IL: University of Chicago Press (1967).

Kosslyn, S.M. "Visual Consciousness." In: *Finding Consciousness in the Brain.* Grossenbacher P.G., ed., pp. 79–103. Amsterdam, Netherlands: John Benjamins (2001).

Kosslyn, S.M., Ganis, G., and Thompson, W.L. "Neural foundations of imagery," *Nature Rev. Neurosci.* 2:635–642 (2001).

Kosslyn, S.M., Thompson, W.L., and Alpert, N.M. "Neural systems shared by visual imagery and visual perception: A PET study," *Neuroimage* 6:320–334 (1997).

Koulakov, A.A. and Chklovskii, D.B. "Orientation preference patterns in mammalian visual cortex: A wire length minimization approach," *Neuron* 29:519–527 (2001).

Krakauer, J. *Eiger Dreams*. New York: Lyons & Burford (1990).

Kreiman, G. *On the neuronal activity in the human brain during visual recognition, imagery and binocular rivalry*. Ph.D. Thesis. Pasadena: California Institute of Technology (2001).

Kreiman G., Fried, I., and Koch, C. "Single-neuron correlates of subjective vision in the human medial temporal lobe," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99:8378–8383 (2002).

Kreiman, G., Koch, C., and Fried, I. "Category-specific visual responses of single neurons in the human medial temporal lobe," *Nature Neurosci.* 3:946–953 (2000a).

Kreiman, G., Koch, C., and Fried, I. "Imagery neurons in the human brain," *Nature* 408:357–361 (2000b).

Kreiter, A.K. and Singer, W. "Oscillatory neuronal responses in the visual cortex of the awake macaque monkey," *Eur. J. Neurosci.* 4:369–375 (1992).

Kreiter, A.K. and Singer, W. "Stimulus-dependent synchronization of neuronal responses in the visual cortex of the awake macaque monkey," *J. Neurosci.* 16:2381–2396 (1996).

Krekelberg, B. and Lappe, M. "Neuronal latencies and the position of moving objects," *Trends Neurosci.* 24:335–339 (2001).

Kretschmann, H.-J. and Weinrich, W. *Cranial Neuroimaging and Clinical Neuroanatomy*. Stuttgart, Germany: Georg Thieme (1992).

Kristofferson, A.B. "Successiveness discrimination as a two-state, quantal process," *Science* 158:1337–1339 (1967).

Kuffler, S.W. "Neurons in the retina: Organization, inhibition and excitatory problems," *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.* 17:281–292 (1952).

Kulli, J. and Koch, C. "Does anesthesia cause loss of consciousness?" *Trends Neurosci.* 14:6–10 (1991).

Kunimoto, C., Miller, J., and Pashler, H. "Confidence and accuracy of near-threshold discrimination responses," *Cons. & Cogn.* 10:294–340 (2001).

Kustov, A.A. and Robinson, D.L. "Shared neural control of attentional shifts and eye movements," *Nature* 384:74–77 (1996).

LaBerge, D. and Buchsbaum, M.S. "Positron emission tomographic measurements of pulvinar activity during an attention task. *J. Neurosci.* 10:613–619 (1990).

Laming, P.R., Syková, E., Reichenbach, A., Hatton, G.I., and Bauer, H., *Glia Cells: Their Role in Behavior*. Cambridge, UK: Cambridge University Press (1998).

Lamme, V.A.F. "Why visual attention and awareness are different," *Trends Cogn. Sci.* 7:12–18 (2003).

Lamme, V.A.F. and Roelfsema, P.R. "The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing," *Trends Neurosci.* 23:571–579 (2000).

Lamme, V.A.F. and Spekreijse, H. "Contextual modulation in primary visual cortex and scene perception." In: *The New Cognitive Neurosciences*. 2nd ed., Gazzaniga, M.S., ed., pp. 279–290. Cambridge, MA: MIT Press (2000).

Lamme, V.A.F., Zipser, K., and Spekreijse, H. "Figure-ground activity in primary visual cortex is suppressed by anesthesia," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95:3263–3268 (1998).

Langston, J.W. and Palfreman, J. *The Case of the Frozen Addicts.* New York: Vintage Books (1995).

Lashley, K.S. "Cerebral organization and behavior." In: *The Brain and Human Behavior. Proc. Ass. Nervous & Mental Disease*, pp. 1–18. New York: Hafner (1956).

Laurent, G. "A systems perspective on early olfactory coding," *Science* 286:723–728 (1999).

Laurent, G., Stopfer, M., Friedrich, R.W., Rabinovich, M.I., Volkovskii, A., and Abarbanel, H.D. "Odor encoding as an active, dynamical process: Experiments, computation, and theory," *Ann. Rev. Neurosci.* 24:263–297 (2001).

Laureys, S., Faymonville, M.E., Degueldre, C., Fiore, G.D., Damas, P, Lambermont, B., Janssens, N., Aerts, J., Franck, G., Luxen, A., Moonen, G., Lamy, M., and Maquet, P. "Auditory processing in the vegetative state," *Brain* 123:1589–1601 (2000).

Laureys, S., Faymonville, M.E., Peigneux, P., Damas, P., Lambermont, B., Del Fiore, G., Degueldre, C., Aerts, J., Luxen, A., Franck, G., Lamy, M., Moonen, G., and Maquet, P. "Cortical processing of noxious somatosensory stimuli in the persistent vegetative state," *Neuroimage* 17:732–741 (2002).

Le Bihan, D., Mangin, J.F., Poupon, C., Clark, C.A., Pappata, S., Molko, N., and Chabriat, H. "Diffusion tensor imaging: Concepts and applications," *J. Magnetic Resonance Imaging* 13:534–546 (2001).

Lechner, H.A.E., Lein, E.S., and Callaway, E.M. "A genetic method for selective and quickly reversible silencing of mammalian neurons," *J. Neurosci.* 22:5287–5290 (2002).

LeDoux, J. *The Emotional Brain.* New York: Simon and Schuster (1996).

Lee, D.K., Itti, L., Koch, C., and Braun, J. "Attention activates winner-take-all competition amongst visual filters," *Nature Neurosci.* 2:375–381 (1999).

Lee, D.N. and Lishman, J.R. "Visual proprioceptive control of stance," *J. Human Movement Studies* 1:87–95 (1975).

Lee, S.-H. and Blake, R. "Rival ideas about binocular rivalry," *Vision Res.* 39:1447–1454 (1999).

Lehky, S.R. and Maunsell, J.H.R. "No binocular rivalry in the LGN of alert macaque monkeys," *Vision Res.* 36:1225–1234 (1996).

Lehky, S.R. and Sejnowski, T. J. "Network model of shape-from-shading: Neural function arises from both receptive and projective fields", *Nature* 333:452–454 (1988).

Lennie, P. "Color vision." In: *Principles of Neural Science.* 4th ed., Kandel, E.R., Schwartz, J.H., and Jessel, T.M. eds., pp. 583–599. New York: McGraw Hill (2000).

Lennie, P. "The cost of cortical computation," *Current Biol.* 13:493–497 (2003).

Leopold, D.A. and Logothetis, N.K. "Activity changes in early visual cortex reflects monkeys' percepts during binocular rivalry," *Nature* 379:549–553 (1996).

Leopold, D.A. and Logothetis, N.K. "Multistable phenomena: Changing views in perception," *Trends Cogn. Sci.* 3:254–264 (1999).

Leopold, D.A., Wilke, M., Maier, A., and Logothetis, N.K. "Stable perception of visually ambiguous patterns," *Nature Neurosci.* 5:605–609 (2002).

LeVay, S., Connolly, M., Houde, J., and Van Essen, D.C. "The complete pattern of ocular dominance stripes in the striate cortex and visual field of the macaque monkey," *J. Neurosci.* 5:486–501 (1985).

LeVay, S. and Gilbert, C.D. "Laminar patterns of geniculocortical projection in the cat," *Brain Res.* **113**:1–19 (1976).

LeVay, S. and Nelson, S.B. "Columnar organization of the visual cortex." in: *The Neural Basis of Visual Function.* Leventhal, A.G., ed., pp. 266–314. Boca Raton, FL: CRC Press (1991).

Levelt, W. *On Binocular Rivalry.* Soesterberg, Netherlands: Institute for Perception RVO-TNO (1965).

Levick, W.R. and Zacks, J.L. "Responses of cat retinal ganglion cells to brief flashes of light," *J. Physiol.* **206**:677–700 (1970).

Levine, J. "Materialism and qualia: The explanatory gap." *Pacific Philos. Quart.* **64**:354–361 (1983).

Levitt, J.B., Kiper, D.C., and Movshon, J.A. "Receptive fields and functional architecture of macaque V2," *J. Neurophysiol.* **71**:2517–2542 (1994).

Lewis, J.W. and Van Essen, D.C. "Mapping of architectonic subdivisions in the macaque monkey, with emphasis on parieto-occipital cortex," *J. Comp. Neurol.* **428**:79–111 (2000).

Li, F.F., VanRullen, R., Koch, C., and Perona, P. "Rapid natural scene categorization in the near absence of attention," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **99**:9596–9601 (2002).

Li, W.H., Parigi, G., Fragai, M., Luchinat, C., and Meade, T.J. "Mechanistic studies of a calcium-dependent MRI contrast agent," *Inorg. Chem.* **41**:4018–4024 (2002).

Liang, J., Williams, D.R., and Miller, D.T. "Supernormal vision and high-resolution retinal imaging through adaptive optics," *J. Opt. Soc. Am. A* **14**:2884–2892 (1997).

Libet, B. "Brain stimulation and the threshold of conscious experience." In: *Brain and Conscious Experience.* Eccles, J.C., ed., pp. 165–181. Berlin: Springer (1966).

Libet, B. "Electrical stimulation of cortex in human subjects and conscious sensory aspects." In: *Handbook of Sensory Physiology, Vol II: Somatosensory Systems.* Iggo, A. ed., pp. 743–790. Berlin: Springer (1973).

Libet, B. *Neurophysiology of Consciousness: Selected Papers and New Essays by Benjamin Libet.* Boston: Birkhäuser (1993).

Lichtenstein, M. "Phenomenal simultaneity with irregular timing of components of the visual stimulus," *Percept. Mot. Skills* **12**:47–60 (1961).

Lisman, J.E. "Bursts as a unit of neural information: Making unreliable synapses reliable," *Trends Neurosci.* **20**:38–43 (1997).

Lisman, J.E. and Idiart, M. A. "Storage of 7±2 short-term memories in oscillatory subcycles," *Science* **267**:1512–1515 (1995).

Livingstone, M.S. "Mechanisms of direction selectivity in macaque V1," *Neuron* **20**:509–526 (1998).

Livingstone, M.S. and Hubel, D.H. "Effects of sleep and rousal on the processing of visual information in the cat," *Science* **291**:554–561 (1981).

Livingstone, M.S. and Hubel, D.H. "Anatomy and physiology of a color system in the primate visual system," *J. Neurosci.* **4**:309–356 (1984).

Livingstone, M.S. and Hubel, D.H. "Connections between layer 4B of area 17 and thick cytochrome oxidase stripes of area 18 in the squirrel monkey," *J. Neurosci.* **7**:3371–3377 (1987).

Llinás, R.R. and Paré, D. "Of dreaming and wakefulness," *Neurosci.* **44**:521–535 (1991).

Llinás, R.R., Ribary, U., Contreras, D., and Pedroarena, C. "The neuronal basis for consciousness," *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* **353**:1841–1849 (1998).

Loftus, G.R., Duncan, J., and Gehrig, P. "On the time course of perceptual information that results from a brief visual presentation," *J. Exp. Psychol. Human Percept. & Perform.* **18**:530–549 (1992).

Logothetis, N.K. "Single units and conscious vision," *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* **353**:1801–1818 (1998).

Logothetis, N.K. "The neural basis of the blood-oxygen-level-dependent functional magnetic resonance imaging signal," *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* **357**:1003–1037 (2002).

Logothetis, N.K. "MR imaging in the non-human primate: Studies of function and dynamic connectivity," *Curr. Opinion Neurobiol.* in press (2004).

Logothetis, N.K., Guggenberger, H., Peled, S., and Pauls, J. "Functional imaging of the monkey brain," *Nature Neurosci.* **2**:555–562 (1999).

Logothetis, N.K., Leopold, D.A., and Sheinberg, D.L. "What is rivalling during binocular rivalry," *Nature* **380**:621–624 (1996).

Logothetis, N.K. and Pauls, J. "Psychophysical and physiological evidence for viewer-centered object representations in the primate," *Cerebral Cortex* **5**:270–288 (1995).

Logothetis, N.K., Pauls, J., Augath, M., Trinath, T., and Oeltermann, A. "Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal," *Nature* **412**:150–157 (2001).

Logothetis, N.K., Pauls, J., Bülthoff, H.H., and Poggio, T. "View-dependent object recognition by monkeys," *Curr. Biol.* **4**:401–414 (1994).

Logothetis, N.K. and Schall, J.D. "Neuronal correlates of subjective visual perception," *Science* **245**:761–763 (1989).

Logothetis, N.K. and Sheinberg, D.L. "Visual object recognition," *Ann. Rev. Neurosci.* **19**:577–621 (1996).

Louie, K. and Wilson, M.A. "Temporally structured replay of awake hippocampal ensemble activity during rapid eye movement sleep," *Neuron* **29**:145–156 (2001).

Lovibond, P.F. and Shanks, D.R. "The role of awareness in Pavlovian conditioning: Empirical evidence and theoretical implications," *J. Exp. Psychology: Animal Behavior Processes* **28**:3–26 (2002).

Lucas, J.R. "Minds, machines and Gödel," *Philosophy* **36**:112–127 (1961).

Luce, R.D. *Response Times*. Oxford, UK: Oxford University Press (1986).

Luck, S.J., Chelazzi, L., Hillyard, S.A., and Desimone, R. "Neural mechanisms of spatial attention in areas V1, V2, and V4 of macaque visual cortex," *J. Neurophysiol.* 77:24–42 (1997).

Luck, S.J., Hillyard, S.A., Mangun, G.R., and Gazzaniga, M.S. "Independent hemispheric attentional systems mediate visual search in split-brain patients," *Nature* 342:543–545 (1989).

Luck, S.J.,.Hillyard, S.A., Mangun, G.R., and Gazzaniga, M.S. "Independent attentional scanning in the separated hemispheres of split-brain patients," *J. Cogn. Neurosci.* 6:84–91 (1994).

Lumer, E.D., Friston, K.J., and Rees, G. "Neural correlates of perceptual rivalry in the human brain," *Science* **280**:1930–1934 (1998).

Lumer, E.D. and Rees, G. "Covariation of activity in visual and prefrontal cortex associated with subjective visual perception," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **96**:1669–1673 (1999).

Lux, S., Kurthen, M., Helmstaedter C., Hartje, W., Reuber, M., and Elger, C.E. "The localizing value of ictal consciousness and its constituent functions," *Brain* 125:2691–2698 (2002).

Lyon, D.C. and Kaas, J.H. "Evidence for a modified V3 with dorsal and ventral halves in macaque monkeys," *Neuron* 33:453–461 (2002).

Lytton, W.W. and Sejnowski, T.J. "Simulations of cortical pyramidal neurons synchronized by inhibitory interneurons," *J. Neurophysiol.* **66**:1059–1079 (1991).

Mack, A. and Rock, I. *Inattentional Blindness*. Cambridge, MA: MIT Press (1998).

Mackintosh, N.J. *Conditioning and Associative Learning*. Oxford, UK: Clarendon Press (1983).

Macknik, S.L. and Livingstone, M.S. "Neuronal correlates of visibility and invisibility in the primate visual system," *Nat Neurosci.* 1:144–149 (1998).

Macknik, S.L. and Martinez-Conde, S. "Dichoptic visual masking in the geniculocortical system of awake primates," *J. Cogn. Neurosci.* in press (2004).

Macknik, S.L., Martinez-Conde, S., and Haglund, M.M. "The role of spatiotemporal edges in visibility and visual masking," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 97:7556–7560 (2000).

MacLeod, K., Backer, A., and Laurent, G. "Who reads temporal information contained across synchronized and oscillatory spike trains?" *Nature* 395:693–698 (1998).

MacNeil, M.A. and Masland, R.H. "Extreme diversity among amacrine cells: Implication for function," *Neuron* 20:971–982 (1998).

Macphail, E.M. *The Evolution of Consciousness*. Oxford, UK: Oxford University Press (1998).

Madler, C. and Pöppel, E. "Auditory evoked potentials indicate the loss of neuronal oscillations during general anaesthesia," *Naturwissenschaften* 74:42–43 (1987).

Magoun, H.W. "An ascending reticular activating system in the brain stem," *Arch. Neurol. Psychiatry* 67:145–154 (1952).

Makeig, S., Westerfield, M., Jung, T.P., Enghoff, S., Townsend, J., Courchesne, E., and Sejnowski, T.J. "Dynamic brain sources of visual evoked responses," *Science* 295:690–694 (2002).

Mandler, G. *Consciousness Recovered: Psychological Functions and Origins of Conscious Thought.* Amsterdam, Netherlands: John Benjamins (2002).

Manford, M. and Andermann, F. "Complex visual hallucinations: Clinical and neurobiological insights," *Brain* 121:1819–1840 (1998).

Mark, V. "Conflicting communicative behavior in a split-brain patient: Support for dual consciousness." In: *Toward a Science of Consciousness: The First Tucson Discussions and Debates.* Hameroff, S.R., Kaszniak, A.W., and Scott, A.C., eds., pp. 189–196. Cambridge, MA: MIT Press (1996).

Marr, D. *Vision.* San Francisco, CA: Freeman (1982).

Marsálek, P., Koch, C., and Maunsell, J.H.R. "On the Relationship between Synaptic Input and Spike Output Jitter in Individual Neurons," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94:735–740 (1997).

Martinez, J.L. and Kesner, R.P., eds. *Neurobiology of Learning and Memory.* New York: Academic Press (1998).

Masand P., Popli, A.P., and Weilburg, J.B. "Sleepwalking," *Am. Fam. Physician* 51:649–654 (1995).

Masland, R.H. "Neuronal diversity in the retina," *Curr. Opinion Neurobiol.* 11:431–436 (2001).

Mather, G., Verstraten, F., and Anstis, S. *The Motion Aftereffect: A Modern Perspective.* Cambridge, MA: MIT Press (1998).

Mathiesen, C., Caesar, K., Ören, N.A., and Lauritzen, M. "Modification of activity-dependent increases of cerebral blood flow by excitatory synaptic activity and spikes in rat cerebellar cortex," *J. Physiology* 512:555–566 (1998).

Mattingley, J.B., Husain, M., Rorden, C., Kennard, C., and Driver, J. "Motor role of human inferior parietal lobe revealed in unilateral neglect patients," *Nature* 392:179–182 (1998).

Maunsell, J.H.R. and Van Essen, D.C. "Functional properties of neurons in middle temporal visual area of the macaque monkey. II. Binocular interactions and sensitivity to binocular disparity," *J. Neurophysiol.* 49:1148–1167 (1983).

McAdams, C.J. and Maunsell, J.H.R. "Effects of attention on orientation-tuning functions of single neurons in macaque cortical area V4," *J. Neurosci.* 19:431–441 (1999).

McAdams, C.J. and Maunsell, J.H.R. "Attention to both space and feature modulates neuronal responses in macaque area V4," *J. Neurophysiol.* 83:1751–1755 (2000).

McBain, C.J. and Fisahn, A. "Interneurons unbound," *Nature Rev. Neurosci.* 2:11–23 (2001).

McClintock, M.K. "Whither menstrual synchrony?" *Ann. Rev. Sex Res.* 9:77–95 (1998).

McComas, A.J. and Cupido, C.M. "The RULER model. Is this how somatosensory cortex works?" *Clinical Neurophysiol.* 110:1987–1994 (1999).

McConkie, G.W. and Currie, C.B. "Visual stability across saccades while viewing complex pictures," *J. Exp. Psych.: Human Perception & Performance* 22:563–581 (1996).

McCullough, J.N., Zhang, N., Reich, D.L., Juvonen, T.S., Klein, J.J., Spielvogel, D., Ergin, M.A., and Griepp, R.B. "Cerebral metabolic suppression during hypothermic circulatory arrest in humans," *Ann. Thorac. Surg.* 67:1895–1899 (1999).

McGinn, C. *The Problem of Consciousness.* Oxford, UK: Blackwell (1991).

McMullin, E. "Biology and the theology of the human." In: *Controlling Our Destinies.* Sloan, P.R., ed., pp. 367–400. Notre Dame, IN: University of Notre Dame Press (2000).

Meador, K.J., Ray, P.G., Day, L.J., and Loring, D.W. "Train duration effects on perception: Sensory deficit, neglect and cerebral lateralization," *J. Clinical Neurophysiol.* 17:406–413 (2000).

Meadows, J.C. "Disturbed perception of colours associated with localized cerebral lesions," *Brain* 97:615–632 (1974).

Medina, J.F., Repa, J.C., Mauk, M.D., and LeDoux, J.E. "Parallels between cerebellum- and amygdala-dependent conditioning," *Nature Rev. Neurosci.* 3:122–131 (2002).

Meenan, J.P. and Miller, L.A. "Perceptual flexibility after frontal or temporal lobectomy," *Neuropsychologia* 32:1145–1149 (1994).

Meister, M. "Multineuronal codes in retinal signaling," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93:609–614 (1996).

Merigan, W.H. and Maunsell, J.H.R. "How parallel are the primate visual pathways?" *Ann. Rev. Neurosci.* 16:369–402 (1993).

Merigan, W.H., Nealey, T.A., and Maunsell, J.H.R. "Visual effects of lesions of cortical area V2 in macaques," *J. Neurosci.* 13:3180–3191 (1993).

Merikle, P.M. "Perception without awareness. Critical issues," *Am. Psychol.* 47:792–795 (1992).

Merikle, P.M. and Daneman, M. "Psychological investigations of unconscious perception," *J. Consc. Studies* 5:5–18 (1998).

Merikle, P.M., Smilek, D., and Eastwood, J.D. "Perception without awareness: Perspectives from cognitive psychology," *Cognition* 79:115–134 (2001).

Merleau-Ponty, M. *The Phenomenology of Perception.* C. Smith, transl., London: Routledge & Kegan Paul (1962).

Metzinger, T., ed. *Conscious Experience.* Exeter, UK: Imprint Academic (1995).

Metzinger, T., ed. *Neural Correlates of Consciousness: Empirical and Conceptual Questions.* Cambridge, MA: MIT Press (2000).

Michael, C.R. "Color vision mechanisms in monkey striate cortex: Dual-opponent cells with concentric receptive fields," *J. Neurophysiol.* 41:572–588 (1978).

Michael, C.R. "Columnar organization of color cells in monkey's striate cortex," *J. Neurophysiol.* 46:587–604 (1981).

Miller, E.K. "The prefrontal cortex: Complex neural properties for complex behavior," *Neuron* 22:15–17 (1999).

Miller, E.K. and Cohen, J.D. "An integrative theory of prefrontal cortex function," *Annu. Rev. Neurosci.* **24**:167–202 (2001).

Miller, E.K., Gochin, P.M., and Gross, C.G. "Suppression of visual responses of neurons in inferior temporal cortex of the awake macaque by addition of a second stimulus," *Brain Res.* **616**:25–29 (1993).

Miller, E.K., Erickson, C.A., and Desimone, R. "Neural mechanisms of visual working memory in prefrontal cortex of the macaque," *J. Neurosci.* **16**:5154–5167 (1996).

Miller, G.A. "The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information," *Psychol. Rev.* **63**:81–97 (1956).

Miller, K.D., Chapman, B., and Stryker, M.P. "Visual responses in adult cat visual cortex depend on *N*-methyl-D-aspartate receptors," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **86**:5183–5187 (1989).

Miller, S.M., Liu, G.B., Ngo, T.T., Hooper, G., Riek, S., Carson, R.G., and Pettigrew, J.D. "Interhemispheric switching mediates perceptual rivalry," *Curr. Biol.* **10**:383–392 (2000).

Millican, P. and Clark, A., eds. *Machines and Thought: The Legacy of Alan Turing.* Oxford, UK: Oxford University Press (1999).

Milner, A.D. and Dyde, R. "Why do some perceptual illusions affect visually guided action, when others don't?" *Trends Cogn. Sci.* **7**:10–11 (2003).

Milner, A.D. and Goodale, M.A. *The Visual Brain in Action.* Oxford, UK: Oxford University Press (1995).

Milner, A.D., Perrett, D.I., Johnston, R.S., Benson, P.J., Jordan, T.R., Heeley, D.W., Bettucci, D., Mortara, F., Mutani, R., Terazzi, E., and Davidson, D.L.W. "Perception and action in form agnosia," *Brain* **114**:405–428 (1991).

Milner, B. "Disorders of learning and memory after temporal lobe lesions in man," *Clin. Neurosurg.* **19**:421–446 (1972).

Milner, B., Squire, L.R., and Kandel, E.R. "Cognitive neuroscience and the study of memory," *Neuron* **20**:445–468 (1998).

Milner, P. "A model for visual shape recognition," *Psychol. Rev.* **81**:521–535 (1974).

Minamimoto, T. and Kimura, M. "Participation of the thalamic CM-Pf complex in attentional orienting," *J. Neurophysiol.* **87**:3090–3101 (2002).

Minsky, M. *The Society of Mind.* New York: Simon and Schuster (1985).

Mitchell, J.P., Macrae, C.N., and Gilchrist, I.D. "Working memory and the suppression of reflexive saccades," *J. Cogn. Neurosci.* **14**:95–103 (2002).

Miyashita, Y., Okuno, H., Tokuyama, W., Ihara, T., and Nakajima, K. "Feedback signal from medial temporal lobe mediates visual associative mnemonic codes of inferotemporal neurons," *Brain Res. Cogn. Brain Res.* **5**:81–86 (1996).

Moldofsky, H., Gilbert, R., Lue, F.A., and MacLean, A.W. "Sleep-related violence," *Sleep* **18**:731–739 (1995).

Montaser-Kouhsari, L., Moradi, F., Zand-Vakili, A., and Esteky, H. "Orientation selective adaptation during motion-induced blindness," *Perception*, in press (2004).

Moore, G.E. *Philosophical Studies*. London: Routledge & Kegan Paul (1922).

Moran, J. and Desimone, R. "Selective attention gates visual processing in extrastriate cortex," *Science* 229:782–784 (1985).

Morris, J.S., Ohman, A., and Dolan, R.J. "A subcortical pathway to the right amygdala mediating 'unseen' fear," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96:1680–1685 (1999).

Moruzzi, G. and Magoun, H.W. "Brain stem reticular formation and activation of the EEG," *EEG Clin. Neurophysiol.* 1:455–473 (1949).

Motter, B.C. "Focal attention produces spatially selective processing in visual cortical areas V1, V2, and V4 in the presence of competing stimuli," *J. Neurophysiol.* 70:909–919 (1993).

Mountcastle, V.B. "Modality and topographic properties of single neurons of cat's somatic sensory cortex," *J. Neurophysiol.* 20:408–434 (1957).

Mountcastle, V.B. *Perceptual Neuroscience*. Cambridge, MA: Harvard University Press (1998).

Mountcastle, V.B., Andersen, R.A., and Motter, B.C. "The influence of attentive fixation upon the excitability of light-sensitive neurons of the posterior parietal cortex," *J. Neurosci.* 1:1218–1235 (1981).

Moutoussis, K. and Zeki, S. "Functional segregation and temporal hierarchy of the visual perceptive systems," *Proc. R. Soc. Lond. B* 264:1407–1415 (1997a).

Moutoussis, K. and Zeki, S. "A direct demonstration of perceptual asynchrony in vision," *Proc. R. Soc. Lond. B* 264:393–399 (1997b).

Mumford, D. "On the computational architecture of the neocortex. I. The role of the thalamo-cortical loop," *Biol. Cybernetics* 65:135–145 (1991).

Mumford, D. "Neuronal architectures for pattern-theoretic problems." In: *Large Scale Neuronal Theories of the Brain*. Koch, C., and Davis, J.L., eds, pp. 125–152. Cambridge, MA: MIT Press (1994).

Murakami, I., Komatsu, H., and Kinoshita, M. "Perceptual filling-in at the scotoma following a monocular retinal lesion in the monkey," *Visual Neurosci.* 14:89–101 (1997).

Murayama, Y., Leopold, D.A., and Logothetis, N.K. "Neural activity during binocular rivalry in the anesthetized monkey," *Soc. Neurosci. Abstr.* 448.11 (2000).

Murphy, N. "Human nature: Historical, scientific, and religious issues." In: *Whatever Happened to the Soul? Scientific and Theological Portraits of Human Nature*. Brown, W.S., Murphy, N., and Malony H.N., eds., pp. 1–30. Minneapolis, MN: Fortress Press (1998).

Myerson, J., Miezin, F., and Allman, J.M. "Binocular rivalry in macaque monkeys and humans: A comparative study in perception," *Behav. Anal. Lett.* 1:149–159 (1981).

Naccache, L., Blandin, E., and Dehaene, S. "Unconscious masked priming depends on temporal attention," *Psychol. Sci.* 13:416–424 (2002).

Nadel, L. and Eichenbaum, H. "Introduction to the special issue on place cells," *Hippocampus* 9:341–345 (1999).

Nagarajan, S., Mahncke, H., Salz, T., Tallal, P., Roberts, T., and Merzenich, M.M. "Cortical auditory signal processing in poor readers," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96:6483–6488 (1999).

Nagel, T. "What is it like to be a bat?" *Philosophical Rev.* 83:435–450 (1974).

Nagel, T. "Panpsychism." In: *Mortal Questions.* Nagel, T., éd., pp. 181–195. Cambridge, UK: Cambridge University Press (1988).

Nakamura, R.K. and Mishkin, M. "Blindness in monkeys following non-visual cortical lesions," *Brain Res.* 188:572–577 (1980).

Nakamura, R.K. and Mishkin, M. "Chronic 'blindness' following lesions of nonvisual cortex in the monkey," *Exp. Brain Res.* 63:173–184 (1986).

Nakayama, K. and Mackeben, M. "Sustained and transient components of focal visual attention," *Vision Res.* 29:1631–1647 (1989).

Nathans, J. "The evolution and physiology of human color vision: Insights from molecular genetic studies of visual pigments," *Neuron* 24:299–312 (1999).

Naya, Y., Yoshida, M., and Miyashita, Y. "Backward spreading of memory-retrieval signal in the primate temporal cortex," *Science* 291:661–664 (2001).

Newman, J.B. "Putting the puzzle together: Toward a general theory of the neural correlates of consciousness," *J. Consc. Studies* 4:47–66 (1997).

Newsome, W.T., Britten, K.H. and Movshon, J.A. "Neuronal correlates of a perceptual decision," *Nature* 341:52–54 (1989).

Newsome, W.T., Maunsell, J.H.R., and Van Essen, D.C. "Ventral posterior visual area of the macaque: Visual topography and areal boundaries," *J. Comp. Neurol.* 252:139–153 (1986).

Newsome, W.T. and Pare, E.B. "A selective impairment of motion perception following lesions of the Middle Temporal visual area (MT)," *J. Neurosci.* 8:2201–2211 (1988).

Niebur, E. and Erdős, P. "Theory of the locomotion of nematodes: Control of the somatic motor neurons by interneurons," *Math. Biosci.* 118:51–82 (1993).

Niebur, E., Hsiao, S.S., and Johnson, K.O. "Synchrony: A neuronal mechanism for attentional selection?" *Curr. Opinion Neurobiol.* 12:190–194 (2002).

Niebur, E. and Koch, C. "A model for the neuronal implementation of selective visual attention based on temporal correlation among neurons," *J. Computational Neurosci.* 1:141–158 (1994).

Niebur, E., Koch, C., and Rosin, C. "An oscillation-based model for the neuronal basis of attention," *Vision Research* 33:2789–2802 (1993).

Nijhawan, R. "Motion extrapolation in catching," *Nature* 370:256–257 (1994).

Nijhawan, R. "Visual decomposition of colour through motion extrapolation," *Nature* 386:66–69 (1997).

Nimchinsky, E.A., Gilissen, E., Allman, J.M., Perl, D.P., Erwin J.M., and Hof, P.R. "A neuronal morphologic type unique to humans and great apes," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96:5268–5273 (1999).

Nirenberg, S., Carcieri, S.M., Jacobs, A.L., and Latham, P.E. "Retinal ganglion cells act largely as independent encoders," *Nature* 411:698–701 (2001).

Nishida, S. and Johnston, A. "Marker correspondence, not processing latency, determines temporal binding of visual attributes," *Curr. Biol.* 12:359–368 (2002).

Noë, A. *Action in Perception.* Cambridge, MA: MIT Press (2004).

Noesselt, T., Hillyard, S.A., Woldorff, M.G., Schoenfeld, A., Hagner, T., Jancke, L., Tempelmann, C., Hinrichs, H., and Heinze, H.J. "Delayed striate cortical activation during spatial attention," *Neuron* 35:575–587 (2002).

Nordby, K. "Vision in a complete achromat: A personal account." In: *Night Vision: basic, Clinical and Applied Aspects.* Hess, R.F., Sharpe, L.T., and Nordby, K., eds., pp. 290–315. Cambridge, UK: Cambridge University Press (1990).

Norman, R.A., Maynard, E.M., Guillory, K.S., and Warren, D.J. "Cortical implants for the blind," *IEEE Spectrum* 33:54–59 (1996).

Norretranders, T. *The User Illusion.* New York: Penguin (1998).

Nowak, L.G. and Bullier, J. "The timing of information transfer in the visual system." In: *Extrastriate Cortex in Primates, Vol. 12.* Rockland, K.S., Kaas, J.H., and Peters, A., eds., pp. 205–241. New York: Plenum (1997).

Nunn, J.A., Gregory, L.J., Brammer, M., Williams, S.C.R., Parslow, D.M., Morgan, M.J., Morris, R.G., Bullmore, E.T., Baron-Cohen, S., and Gray, J.A. "Functional magnetic resonance imaging of synesthesia: Activation of V4/V8 by spoken words," *Nature Neurosci.* 5:371–375 (2002).

O'Connor, D.H., Fukui, M.M., Pinsk, M.A., and Kastner, S. "Attention modulates responses in the human lateral geniculate nucleus," *Nature Neurosci.* 5:1203–1209 (2002).

O'Craven, K. and Kanwisher, N. "Mental imagery of faces and places activates corresponding stimulus-specific brain regions," *J. Cogn. Neursci.* 12:1013–1023 (2000).

Öhman, A. and Soares, J.J. "Emotional conditioning to masked stimuli: Expectancies for aversive outcomes following nonrecognized fear-relevant stimuli," *J. Exp. Psychol. Gen.* 127:69–82 (1998).

Ojemann, G.A., Ojemann, S.G., and Fried, I. "Lessons from the human brain: Neuronal activity related to cognition," *Neuroscientist* 4:285–300 (1998).

Ojima, H. "Terminal morphology and distribution of corticothalamic fibers originating from layers 5 and 6 of cat primary auditory cortex," *Cerebral Cortex* 4:646–663 (1994).

O'Keefe, J. and Nadel, L. *The Hippocampus as a Cognitive Map.* Oxford, UK: Clarendon (1978).

O'Keefe, J. and Recce, M.L. "Phase relationship btewеen hippocampal place units and the EEG theta rhythm," *Hippocampus* 3:317–330 (1993).

Ono, H. and Barbeito, R. "Ultocular discrimination is not sufficient for utrocular identification," *Vision Res.* 25:289–299 (1985).

O'Regan, J.K. "Solving the 'real' mysteries of visual perception: The world as an outside memory," *Canadian J. Psychol.* 46:461–488 (1992).

O'Regan, J.K. and Noë, A. "A sensorimotor account of vision and visual consciousness," *Behav. Brain Sci.* 24:939–1001 (2001).

O'Regan, J.K., Rensink, R.A., and Clark, J.J. "Change-blindness as a result of mud-splashes," *Nature* 398:34 (1999).

O'Shea, R.P. and Corballis, P.M. "Binocular rivalry between complex stimuli in split-brain observers," *Brain & Mind* 2:151–160 (2001).

Oxbury, J., Polkey, C.E., and Duchowny, M., eds. *Intractable Focal Epilepsy*. Philadelphia: Saunders (2000).

Pagels, H. *The Dreams of Reason*. New York: Simon and Schuster (1988).

Palm, G. *Neural Assemblies: An Alternative Approach to Artificial Intelligence*. Berlin: Springer (1982).

Palm, G. "Cell assemblies as a guideline for brain research," *Concepts Neurosci.* 1:133–147 (1990).

Palmer, L.A., Jones, J.P., and Stepnoski, R.A. "Striate receptive fields as linear filters: Characterization in two dimensions of space." In: *The Neural Basis of Visual Function*. Leventhal, A.G., ed., pp. 246–265. Boca Raton, FL: CRC Press (1991).

Palmer, S. *Vision Science: Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT Press (1999).

Pantages, E. and Dulac, C. "A novel family of candidate pheromone receptors in mammals," *Neuron* 28:835–845 (2000).

Parasuraman, R., ed. *The Attentive Brain*. Cambridge, MA: MIT Press (1998).

Parker, A.J. and Krug, K. "Neuronal mechanisms for the perception of ambiguous stimuli," *Curr. Opinion Neurobiol.* 13:433–439 (2003).

Parker, A.J. and Newsome, W.T. "Sense and the single neuron: Probing the physiology of perception," *Ann. Rev. Neurosci.* 21:227–277 (1998).

Parra, G., Gulyas, A.I., and Miles, R. "How many subtypes of inhibitory cells in the hippocampus?" *Neuron* 20:983–993 (1998).

Parvizi, J. and Damasio, A.R. "Consciousness and the brainstem," *Cognition* 79:135–159 (2001).

Pashler, H.E. *The Psychology of Attention*. Cambridge, MA: MIT Press (1998).

Passingham, R. *The Frontal Lobes and Voluntary Action*. Oxford, UK: Oxford University Press (1993).

Pastor, M.A. and Artieda, J., eds. *Time, Internal Clocks, and Movement*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier (1996).

Paulesu, E., Harrison, J., Baron-Cohen, S., Watson, J.D., Goldstein, L., Heather, J., Frackowiak, R.S.J., and Frith, C.D. "The physiology of coloured hearing. A PET activation study of colour-word synaesthesia," *Brain* 118:661–676 (1995).

Payne, B.R., Lomber, S.G., Villa, A.E., and Bullier, J. "Reversible deactivation of cerebral network components," *Trends Neurosci.* 19:535–542 (1996).

Pedley, T.A. and Guilleminault, C. "Episodic nocturnal wanderings responsive to anticonvulsant drug therapy," *Ann. Neurol.* 2:30–35 (1977).

Penfield, W. *The Mystery of the Mind*. Princeton, NJ: Princeton University Press (1975).

Penfield, W. and Jasper, H. *Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain*. Boston: Little & Brown (1954).

Penfield, W. and Perot, P. "The brain's record of auditory and visual experience: A final summary and discussion," *Brain* 86:595–696 (1963).

Penrose, R. *The Emperor's New Mind*. Oxford, UK: Oxford University Press (1989).

Penrose, R. *Shadows of the Mind*. Oxford, UK: Oxford University Press (1994).

Perenin, M.T. and Rossetti, Y. "Grasping without form discrimination in a hemianopic field," *Neuroreport* 7:793–797 (1996).

Perez-Orive, J., Mazor, O., Turner, G.C., Cassenaer, S., Wilson, R.I., and Laurent, G. "Oscillations and sparsening of odor representation in the mushroom body," *Science* 297:359–365 (2002).

Perrett, D.I., Hietanen, J.K., Oram, M.W., and Benson, P.J. "Organization and functions of cells responsive to faces in the temporal cortex," *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. B* 335:23–30 (1992).

Perry, E., Ashton, H., and Young, A., eds. *Neurochemistry of Consciousness*. Amsterdam, Netherlands: John Benjamins (2002).

Perry, E., Walker, M., Grace, J., and Perry, R. "Acetylcholine in mind: A neurotransmitter correlate of consciousness," *Trends Neurosci.* 22:273–280 (1999).

Perry, E. and Young, A. "Neurotransmitter networks." In: *Neurochemistry of Consciousness*. Perry, E., Ashton, H., and Young, A., eds., pp. 3–23. Amsterdam, Netherlands: John Benjamins (2002).

Pessoa, L. and DeWeerd, P., eds. *Filling-In: From Perceptual Completion to Cortical Reorganization*. New York: Oxford University Press (2003).

Pessoa, L., Thompson, E., and Noë, A. "Finding out about filling in: A guide to perceptual completion for visual science and the philosophy of perception," *Behavioral and Brain Sci.* 21:723–802 (1998).

Peterhans, E. "Functional organization of area V2 in the awake monkey." In: *Cerebral Cortex, Vol 12*. Rockland, K.S., Kaas, J.H., and Peters, A., eds., pp. 335–358. New York: Plenum Press (1997).

Peterhans, E. and von der Heydt, R. "Subjective contours: Bridging the gap between psychophysics and physiology," *Trends Neurosci.* 14:112–119 (1991).

Peters, A. and Rockland, K.S., eds. *Cerebral Cortex. Vol. 10*. New York: Plenum Press (1994).

Pettigrew, J.D. and Miller, S.M. "A 'sticky' interhemishperic switch in bipolar disorder?" *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 265:2141–2148 (1998).

Philbeck, J.W. and Loomis, J.M. "Comparisons of two indicators of perceived egocentric distance under full-cue and reduced-cue conditions," *J. Exp. Psychology: Human Perception & Performance* 23:72–85 (1997).

Pickersgill, M.J. "On knowing with which eye one is seeing," *Quart. J. Exp. Psychol.* 13:168–172 (1961).

Pitts, W. and McCulloch, W.S. "How we know universals: The perception of auditory and visual forms," *Bull. Math. Biophysics* 9:127–147 (1947).

Plum, F. and Posner, J.B. *The Diagnosis of Stupor and Coma*. 3rd ed. Philadelphia: FA Davis (1983).

Pochon, J.-B., Levy, R., Poline, J.-B., Crozier, S., Lehéricy, S., Pillon, B., Deweer, B., Le Bihan, D., and Dubois, B. "The role of dorsolateral prefrontal cortex in the preparation of forthcoming actions: An fMRI study," *Cerebral Cortex* 11:260–266 (2001).

Poggio, G.F. and Poggio, T. "The analysis of stereopsis," *Ann. Rev. Neurosci.* 7:379–412 (1984).

Poggio, T. "A theory of how the brain might work," *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.* 55:899–910 (1990).

Poggio, T., Torre, V., and Koch, C. "Computational vision and regularization theory," *Nature* 317:314–319 (1985).

Poincaré, H. "Mathematical discovery." In: *Science and Method*. pp. 46–63. New York: Dover Books (1952).

Pollen, D.A. "Cortical areas in visual awareness," *Nature* 377:293–294 (1995).

Pollen, D.A. "On the neural correlates of visual perception," *Cerebral Cortex* 9:4–19 (1999).

Pollen, D.A. "Explicit neural representations, recursive neural networks and conscious visual perception," *Cerebral Cortex* 13:807–814 (2003).

Polonsky, A., Blake, R., Braun, J., and Heeger, D. "Neuronal activity in human primary visual cortex correlates with perception during binocular rivalry," *Nature Neurosci.* 3:1153–1159 (2000).

Polyak, S.L. *The Retina*. Chicago, IL: University of Chicago Press (1941).

Pöppel, E. "Time perception." In: *Handbook of Sensory Physiology. Vol. 8: Perception.* Held, R., Leibowitz, H.W., and Teuber, H.-L. eds., pp. 713–729. Berlin: Springer (1978).

Pöppel, E. "A hierarchical model of temporal perception," *Trends Cogn. Sci.* 1:56–61 (1997).

Pöppel, E., Held, R., and Frost, D. "Residual visual function after brain wounds involving the central visual pathways in man," *Nature* 243:295–296 (1973).

Pöppel, E. and Logothetis, N.K. "Neural oscillations in the brain. Discontinuous initiations of pursuit eye movements indicate a 30-Hz temporal framework for visual information processing," *Naturwissenschaften* 73:267–268 (1986).

Popper, K.R. and Eccles, J.C. *The Self and its Brain*. Berlin: Springer (1977).

Porac, C. and Coren, S. "Sighting dominance and utrocular discrimination," *Percept. Psychophys.* 39:449–41 (1986).

Posner, M.I. and Gilbert, C.D. "Attention and primary visual cortex," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 16:2585–2587 (1999).

Posner, M.I., Snyder, C.R.R. and Davidson, B.J. "Attention and the detection of signals," *J. exp. Psychol.: General* 109:160–174 (1980).

Potter, M.C. "Very short-term conceptual memory," *Memory & Cognition* 21:156–161 (1993).

Potter, M.C. and Levy, E.I. "Recognition memory for a rapid sequence of pictures," *J. Exp. Psychol.* 81:10–15 (1969).

Pouget, A. and Sejnowski, T.J. "Spatial transformations in the parietal cortex using basis functions," *J. Cogn. Neurosci.* **9**:222–237 (1997).

Preuss, T.M. "What's human about the human brain?" In: *The New Cognitive Neurosciences.* 2nd ed., Gazzaniga, M.S., ed., pp. 1219–1234. Cambridge, MA: MIT Press (2000).

Preuss, T.M., Qi, H., and Kaas, J.H. "Distinctive compartmental organization of human primary visual cortex," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **96**:11601–11606 (1999).

Pritchard, R.M., Heron, W., and Hebb, D.O. "Visual perception approached by the method of stabilized images," *Canad. J. Psychol.* **14**:67–77 (1960).

Proffitt, D.R., Bhalla, M., Gossweiler, R., and Midgett, J. "Perceiving geographical slant," *Psychonomic Bulletin & Rev.* **2**:409–428 (1995).

Przybyszewski, A.W., Gaska, J.P., Foote, W., and Pollen, D.A. "Striate cortex increases contrast gain of macaque LGN neurons," *Visual Neurosci.* **17**:485–494 (2000).

Puccetti, R. *The Trial of John and Henry Norton.* London: Hutchinson (1973).

Purpura, K.P. and Schiff, N.D. "The thalamjc intralaminar nuclei: Role in visual awareness," *Neuroscientist* **3**:8–14 (1997).

Purves, D., Paydarfar, J.A., and Andrews, T.J. "The wagon wheel illusion in movies and reality," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **93**:3693–3697 (1996).

Quinn, J.J., Oommen, S.S., Morrison, G.E., and Fanselow, M.S. "Post-training excitotoxic lesions of the dorsal hippocampus attenuate forward trace, backward trace, and delay fear conditioning in a temporally-specific manner," *Hippocampus* **12**:495–504 (2002).

Rafal, R.D. "Hemispatial neglect: Cognitive neuropsychological aspects." In: *Behavioral Neurology and Neuropsychology.* Feinberg, T.E. and Farah, M.J., eds., pp. 319–336. New York: McGraw-Hill (1997a).

Rafal, R.D. "Balint syndrome." In: *Behavioral Neurology and Neuropsychology.* Feinberg, T.E. and Farah, M.J., eds., pp. 337–356. New York: McGraw-Hill (1997b).

Rafal, R.D. and Posner, M. "Deficits in human visual spatial attention following thalamic lesions," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **84**:7349–7353 (1987).

Rakic, P. "A small step for the cell, a giant leap for mankind: A hypothesis of neocortical expansion during evolution," *Trends Neurosci.* **18**:383–388 (1995).

Ramachandran, V.S. "Blind spots," *Sci. Am.* **266**:86–91 (1992).

Ramachandran, V.S. and Gregory, R.L. "Perceptual filling in of artificially induced scotomas in human vision," *Nature* **350**:699–702 (1991).

Ramachandram, V.S. and Hubbard, E.M. "Psychophysical investigations into the neural basis of synaesthesia," *Proc. R. Soc. Lond. B* **268**:979–983 (2001).

Ramòn y Cajal, S. "New ideas on the structure of the nervous system of man and vertebrates." Translated by Swanson, N. and Swanson, L.M. from *Les nouvelles idées sur la structure du système nerveux chez l'homme et chez les vertébrés.* Cambridge, MA: MIT Press (1991).

Rao, R.P.N. and Ballard, D.H. "Predictive coding in the visual cortex: A functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects," *Nature Neurosci.* **2**:79–87 (1999).

Rao, R.P.N, Olshausen, B.A., and Lewicki, M.S., eds. *Probabilistic Models of the Brain.* Cambridge, MA: MIT Press (2002).

Rao, S.C., Rainer, G., and Miller, E.K. "Integration of what and where in the primate prefrontal cortex," *Science* 276:821–824 (1997).

Ratliff, F. and Hartline, H.K. "The responses of Limulus optic nerve fibers to patterns of illumination on the receptor mosaic," *J. Gen. Physiol.* 42:1241–1255 (1959).

Ray, P.G., Meador, K.J., Smith, J.R., Wheless, J.W., Sittenfeld, M., and Clifton, G.L. "Cortical stimulation and recording in humans," *Neurology* 52:1044–1049 (1999).

Reddy, L., Wilken, P., and Koch, C. "Face-gender discrimination in the near-absence of attention," *J. Vision*, in press (2004).

Rees, G., Friston, K., and Koch, C. "A direct quantitative relationship between the functional properties of human and macaque V5," *Nature Neurosci.* 3:716–723 (2000).

Rees, G., Wojciulik, E., Clarke, K., Husain, M., Frith, C., and Driver, J. "Unconscious activation of visual cortex in the damaged right hemisphere of a parietal patient with extinction," *Brain* 123:1624–1633 (2000).

Reeves, A.G., ed. *Epilepsy and the Corpus Callosum.* New York: Plenum Press (1985).

Reingold, E.M. and Merikle, P.M. "On the inter-relatedness of theory and measurement in the study of unconscious processes," *Mind Lang.* 5:9–28 (1990).

Rempel-Clower, N.L. and Barbas, H. "The laminar pattern of connections between prefrontal and anterior temporal cortices in the rhesus monkey is related to cortical structure and function," *Cerebral Cortex* 10:851–865 (2000).

Rensink, R.A. "Seeing, sensing, and scrutinizing," *Vision Res.* 40:1469–1487 (2000a).

Rensink, R.A. "The dynamic representation of scenes," *Visual Cognition* 7:17–42 (2000b).

Rensink, R.A., O'Regan, J.K., and Clark, J.J. "To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes," *Psychological Sci.* 8:368–373 (1997).

Revonsuo, A. "The reinterpretation of dreams: An evolutionary hypothesis of the function of dreaming," *Behav. Brain Sci.* 23:877–901 (2000).

Revonsuo, A., Johanson, M., Wedlund, J.-E., and Chaplin, J. "The zombie among us." In: *Beyond Dissociation.* Rossetti, Y. and Revonsuo, A., eds., pp. 331–351. Amsterdam, Netherlands: John Benjamins (2000).

Revonsuo, A., Wilenius-Emet, M., Kuusela, J., and Lehto, M. "The neural generation of a unified illusion in human vision," *Neuroreport* 8:3867–3870 (1997).

Reynolds, J.H., Chelazzi, L., and Desimone, R. "Competitive mechanisms subserve attention in macaque areas V2 and V4," *J. Neurosci.* 19:1736–1753 (1999).

Reynolds, J.H. and Desimone, R. "The role of neural mechanisms of attention in solving the binding problem," *Neuron* 24:19–29 (1999).

Rhodes P.A. and Llinás, R.R. "Apical tuft input efficacy in layer 5 pyramidal cells from rat visual cortex," *J. Physiol.* 536:167–187 (2001).

Ricci, C. and Blundo, C. "Perception of ambiguous figures after focal brain lesions," *Neuropsychologia* 28:1163–73 (1990).

Riddoch, M.J. and Humphreys, G.W. "17 + 14 = 41? Three cases of working memory impairment." In: *Broken Memories: Case Studies in Memory Impairment.* Campbell, R. and Conway, M.A., eds., pp. 253–266. Oxford, UK: Blackwell (1995).

Ridley, M. *Nature Via Nurture.* New York: Harper Collins (2003).

Rieke, F., Warland, D., van Steveninck, R.R.D., and Bialek, W. *Spikes: Exploring the Neural Code.* Cambridge, MA: MIT Press (1996).

Ritz, R. and Sejnowski, T.J. "Synchronous oscillatory activity in sensory systems: New vistas on mechanisms," *Curr. Opinion Neurobiol.* 7:536–546 (1997).

Rizzuto, D.S., Madsen, J.R., Bromfield, E.B., Schulze-Bonhage, A., Seelig, D., Aschenbrenner-Scheibe, R., and Kahana, M.J. "Reset of human neocortical oscillations during a working memory task," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100:7931–7936 (2003).

Robertson, L. "Binding, spatial attention, and perceptual awareness," *Nature Rev. Neurosci.* 4:93–102 (2003).

Robertson, I.H. and Marshall, J.C., eds. *Unilateral Neglect: Clinical and Experimental Studies.* Hove, UK: Lawrence Erlbaum (1993).

Robertson, L., Treisman, A., Friedman-Hill, S., and Grabowecky, M. "The interaction of spatial and object pathways: Evidence from Balint's syndrome," *J. Cogn. Neurosci.* 9:295–317 (1997).

Robinson, D.L. and Cowie, R.J. "The primate pulvinar: Stuctural, functional, and behavioral components of visual salience." In: *The Thalamus.* Jones, E.G., Steriade, M., and McCormick, D.A., eds., pp. 53–92. Amsterdam: Elsevier (1997).

Robinson, D.L. and Petersen, S.E. "The pulvinar and visual salience," *Trends Neurosci.* 15:127–132 (1992).

Rock, I. and Gutman, D. "The effect of inattention on form perception," *J. Exp. Psychol. Hum. Perception & Performance* 7:275–285 (1981).

Rockel, A.J., Hiorns, R.W., and Powell, T.P.S. "The basic uniformity in structure of the neocortex," *Brain* 103:221–244 (1980).

Rockland, K.S. "Further evidence for two types of corticopulvinar neurons," *Neuroreport* 5:1865–1868 (1994).

Rockland, K.S. "Two types of corticopulvinar terminations: Round (type 2) and elongate (type 1)," *J. Comp. Neurol.* 368:57–87 (1996).

Rockland, K.S. "Elements of cortical architecture: Hierarchy revisited." In: *Cerebral Cortex, Vol. 12.* Rockland, K.S., Kaas, J.H., and Peters, A., eds., pp. 243–293. New York: Plenum Press (1997).

Rockland, K.S. and Pandya, D.N. "Laminar origins and terminations of cortical connections of the occipital lobe in the rhesus monkey," *Brain Res.* 179:3–20 (1979).

Rockland, K.S. and Van Hoesen, G.W. "Direct temporal-occipital feedback connections to striate cortex (V1) in the macaque monkey," *Cerebral Cortex* 4:300–313 (1994).

Rodieck, R.W. *The First Steps in Seeing.* Sunderland, MA: Sinauer Associates (1998).

Rodieck, R.W., Binmoeller, K.F., and Dineen, J.T. "Parasol and midget ganglion cells of the human retina," *J. Comp. Neurol.* 233:115–132 (1985).

Rodriguez, E., George, N., Lachaux, J.-P., Martinerie, J., Renault, B., and Varela, F.J. "Perception's shadow: Long-distance synchronziation of human brain activity," *Nature* 397:430–433 (1999).

Roe, A.W. and Ts'o, D.Y. "The functional architecture of area V2 in the macaque monkey: Physiology, topography, and connectivity." In *Cerebral Cortex, Vol 12: Extrastriate Cortex in Primates*, Rockland, K.S., Kaas, J.H., and Peters, A., eds., pp. 295–334. New York: Plenum Press (1997).

Roelfsema, P.R., Lamme, V.A.F., and Spekreijse, H. "Oject-based attention in the primary visual cortex of the macaque monkey," *Nature* 395:376–381 (1998).

Rolls, E.T. "Spatial view cells and the representation of place in the primate hippocampus," *Hippocampus* 9:467–480 (1999).

Rolls, E.T., Aggelopoulos, N.C., and Zheng, F. "The receptive fields of inferior temporal cortex neurons in natural scenes," *J. Neurosci.* 23:339–348 (2003).

Rolls, E.T. and Deco, G. *Computational Neuroscience of Vision.* Oxford, UK: Oxford University Press (2002).

Rolls, E.T. and Tovee, M.J. "Processing speed in the cerebral cortex and the neurophysiology of visual masking," *Proc. R. Soc. Lond. B* 257:9–15 (1994).

Rolls, E.T. and Tovee, M.J. "The responses of single neurons in the temporal visual cortical areas of the macaque when more than one stimulus is present in the receptive field," *Exp. Brain Res.* 103:409–420 (1995).

Romo, R., Brody, C.D., Hernández, A., and Lemus, L. "Neuronal correlates of parametric working memory in the prefrontal cortex," *Nature* 399:470–473 (1999).

Roorda, A. and Williams, D.R. "The arrangement of the three cone classes in the living human eye," *Nature* 397:520–522 (1999).

Rosen, M. and Lunn, J.N., eds. *Consciousness, Awareness, and Pain in General Anaesthesia.* London: Butterworths (1987).

Rossen, R., Kabat, H., and Anderson, J.P. "Acute arrest of cerebral circulation in man," *Arch. Neurol. Psychiatry* 50:510–528 (1943).

Rossetti, Y. "Implicit short-lived motor representations of space in brain damaged and healthy subjects," *Consc. & Cognition* 7:520–558 (1998).

Rousselet, G., Fabre-Thorpe, M., and Thorpe, S. "Parallel processing in high-level visual scene categorization," *Nature Neurosci.* 5:629–630 (2002).

Ryle, G. *The Concept of the Mind* London: Hutchinson (1949).

Sacks, O. *Migraine.* Rev. ed. Berkeley, CA: University of California Press (1970).

Sacks, O. *Awakenings.* New York: E.P. Dutton (1973).

Sacks, O. *A Leg to Stand On.* New York: Summit Books (1984).

Sacks, O. *The Man Who Mistook His Wife for a Hat.* New York: Harper & Row (1985).

Sacks, O. "The mind's eye: What the blind see." *The New Yorker*, July 28, pp. 48–59 (2003).

Saenz, M., Buracas, G.T., and Boynton, G.M. "Global effects of feature-based attention in human visual cortex," *Nature Neurosci.* 5:631–632 (2002).

Saint-Cyr, J.A., Ungerleider, L.G., and Desimone, R. "Organization of visual cortical inputs to the striatum and subsequent outputs to the pallido-nigral complex in the monkey," *J. Compa. Neurol.* **298**:129–156 (1990).

Sakai, K., Watanabe, E., Onodera, Y., Uchida, I., Kato, H., Yamamoto, E., Koizumi, H., and Miyashita, Y. "Functional mapping of the human colour centre with echo-planar magnetic resonance imaging," *Proc. R. Soc. Lond. B* **261**:89–98 (1995).

Saleem, K.S., Suzuki, W., Tanaka, K., and Hashikawa, T. "Connections between anterior inferotemporal cortex and superior temporal sulcus regions in the macaque monkey," *J. Neurosci.* **20**:5083–5101 (2000).

Salin, P.-A. and Bullier, J. "Corticocortical connections in the visual system: Structure and Function," *Physiol. Rev.* **75**:107–154 (1995).

Salinas, E. and Abbott, L.F. "Transfer of coded information from sensory to motor networks," *J. Neurosci.* **15**:6461–6474 (1995).

Salinas, E. and Sejnowski, T.J. "Correlated neuronal activity and the flow of neural information," *Nature Rev. Neurosci.* **2**:539–550 (2001).

Salzman, C.D., Murasugi, C.M., Britten, K.H., and Newsome, W.T. "Microstimulation in visual area MT: Effects on direction discrimination performance," *J. Neurosci.* **12**:2331–2355 (1992).

Salzman, C.D. and Newsome, W.T. "Neural mechanisms for forming a perceptual decision," *Science* **264**:231–237 (1994).

Sammon, P.M. *Future Noir: The Making of Blade Runner.* New York, HarperPrims (1996).

Sanderson, M.J. "Intercellular waves of communication," *New Physiol. Sci.* **11**:262–269 (1996).

Sanford, A.J. "A periodic basis for perception and action." In: *Biological Rhythms and Human Performance.* Colquhuon, W., ed., pp. 179–209. New York: Academic Press (1971).

Savic, I. "Imaging of brain activation by odorants in humans," *Curr. Opinion Neurobiol.* **12**:455–461 (2002).

Savic, I., Berglund, H., Gulyas, B., and Roland, P. "Smelling of odorous sex hormone-like compounds causes sex-differentiated hypothalamic activations in humans," *Neuron* **31**:661–668 (2001).

Sawatari, A. and Callaway, E.M. "Diversity and cell type specificity of local excitatory connections to neurons in layer 3B of monkey primary visual cortex," *Neuron* **25**:459–471 (2000).

Scalaidhe, S.P., Wilson, F.A., and Goldman-Rakic, P.S. "Areal segregation of face-processing neurons in prefrontal cortex," *Science* **278**:1135–1138 (1997).

Schall, J.D. "Neural basis of saccadic eye movements in primates." In: *The Neural Basis of Visual Function.* Leventhal, A.G., ed., pp. 388–441. Boca Raton, FL: CRC Press (1991).

Schall, J.D. "Visuomotor areas of the frontal lobe. In: *Cerebral Cortex. Vol. 12.* Rockland, K.S., Kaas, J.H., and Peters, A., eds., pp. 527–638. New York: Plenum Press (1997).

Schall, J.D. "Neural basis of deciding, choosing and acting," *Nature Rev. Neurosci.* **2**:33–42 (2001).

Schank, J.C. "Menstrual-cycle synchrony: Problems and new directions for research," *J. Comp. Psychology* **115**:3–15 (2001).

Schenck, C.H. and Mahowald, M.W. "An analysis of a recent criminal trial involving sexual misconduct with a child, alcohol abuse and a successful sleepwalking defence: Arguments supporting two proposed new forensic categories," *Med. Sci. Law* **38**:147–152 (1998).

Schiff, N.D. "The neurology of impaired consciousness: Challenges for cognitive neuroscience." In: *The New Cognitive Neurosciences.* Gazzaniga, M., ed. Cambridge, MA: MIT Press (2004).

Schiff, N.D. and Plum, F. "The role of arousal and 'gating' systems in the neurology of impaired consciousness," *J. Clinical Neurophysiol.* **17**:438–452 (2000).

Schiffer, F. "Can the different cerebral hemispheres have distinct personalities? Evidence and its implications for theory and treatment of PTSD and other disorders?" *J. Traum. Dissoc.* **1**:83–104 (2000).

Schiller, P.H. and Chou, I.H. "The effects of frontal eye field and dorsomedial frontal-cortex lesions on visually guided eye-movements," *Nature Neurosci.* **1**:248–253 (1998).

Schiller, P.H. and Logothetis, N.K."The color-opponent and broad-based channels of the primate visual system," *Trends Neurosci.* **13**:392–398 (1990).

Schiller, P.H., True, S.D., and Conway, J.L. "Effects of frontal eye field and superior colliculus ablations on eye movements," *Science* **206**:590–592 (1979).

Schlag, J. and Schlag-Rey, M. "Visuomotor functions of central thalamus in monkey. II. Unit activity related to visual events, targeting, and fixation," *J. Neurophysiol.* **51**:1175–1195 (1984).

Schlag, J. and Schlag-Rey, M. "Through the eye, slowly: Delays and localization errors in the visual system," *Nature Rev. Neurosci.* **3**:191–215 (2002).

Schmidt, E.M., Bak, M.J., Hambrecht, F.T., Kufta, C.V., O'Rourke, D.K., and Vallabhanath, P. "Feasibility of a visual prosthesis for the blind based on intracortical microstimulation of the visual cortex," *Brain* **119**:507–522 (1996).

Schmolesky, M.T., Wang, Y., Hanes, D.P., Leutgeb, S., Schall, J.B., and Leventhal, A.G. "Signal timing across the macaque visual system," *J. Neurophysiol.* **79**:3272–3280 (1998).

Schooler, J.W. and Melcher, J. "The ineffability of insight." In: *The Creative Cognition Approach.* Smith, S.M., Ward, T.B., and Finke, R.A., eds., pp. 97–133. Cambridge, MA: MIT Press (1995).

Schooler, J.W., Ohlsson, S., and Brooks, K. "Thoughts beyond words: When language overshadows insight," *J. Exp. Psychol. Gen.* **122**:166–183 (1993).

Schrödinger, E. *What Is Life?* Cambridge, UK: Cambridge University Press (1944).

Scoville, W.B. and Milner, B. "Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions," *J. Neurochem.* **20**:11–21 (1957).

Searle, J.R. *The Mystery of Consciousness.* New York: The New York Review of Books (1997).

Searle, J.R. "Consciousness," *Ann. Rev. Neurosci.* 23:557–578 (2000).

Seckel, A. *The Art of Optical Illusions.* Carlton Books (2000).

Seckel, A. *More Optical Illusions.* Carlton Books (2002).

Sennholz, G. "Bispectral analysis technology and equipment," *Minerva Anestesiol.* 66:386–388 (2000).

Shadlen, M.N., Britten, K.H., Newsome, W.T., and Movshon, J.A. "A computational analysis of the relationship between neuronal and behavioral responses to visual motion," *J. Neurosci.* 16:1486–1510 (1996).

Shadlen, M.N. and Movshon, J.A. "Synchrony unbound: A critical evaluation of the temporal binding hypothesis," *Neuron* 24:67–77 (1999).

Shallice, T. *From Neuropsychology to Mental Structure.* Cambridge, UK: Cambridge University Press (1988).

Shapley, R. and Ringach, D. "Dynamics of responses in visual cortex." In: *The New Cognitive Neurosciences.* 2nd ed., Gazzaniga, M.S., ed., pp. 253–261. Cambridge, MA: MIT Press (2000).

Shear, J., ed. *Explaining Consciousness: The Hard Problem.* Cambridge, MA: MIT Press (1997).

Sheinberg, D.L. and Logothetis, N.K. "The role of temporal cortical areas in perceptual organization," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94:3408–3413 (1997).

Sheinberg, D.L. and Logothetis, N.K. "Noticing familiar objects in real world scenes: The role of temporal cortical neurons in natural vision," *J. Neurosci.* 15:1340–1350 (2001).

Sheliga, B.M., Riggio, L., and Rizzolatti, G. "Orienting of attention and eye movements," *Exp. Brain Res.* 98:507–522 (1994).

Shepherd, G.M. *Foundations of the Neuron Doctrine.* New York: Oxford University Press (1991).

Shepherd, M., Findlay, J.M., and Hockey, R.J. "The relationship between eye movements and spatial attention," *Quart. J. Exp. Psychol.* 38:475–491 (1986).

Sherk, H. "The claustrum." In: *Cerebral Cortex Vol. 5.* Jones, E.G. and Peters, A., eds., pp. 467–499. New York: Plenum (1986).

Sherman, S.M. and Guillery, R. *Exploring the Thalamus.* San Diego, CA: Academic Press (2001).

Sherman, S.M. and Koch, C. "Thalamus." In: *The Synaptic Organization of the Brain.* 4th ed., Shepherd, G. ed., pp. 289–328. New York: Oxford University Press (1998).

Sheth, B.R., Nijhawan, R., and Shimojo, S. "Changing objects lead briefly flashed ones," *Nature Neurosci.* 3:489–495 (2000).

Shimojo, S., Tanaka, Y., and Watanabe, K. "Stimulus-driven facilitation and inhibition of visual information processing in environmental and retinotopic representations of space," *Brain Res. Cogn. Brain Res.* 5:11–21 (1996).

Siegel, J.M. "Nacrolepsy," *Scientific American* 282:76–81 (2000).

Siewert, C.P. *The Significance of Consciousness*. Princeton, NJ: Princeton University Press (1998).

Simons, D.J. and Chabris, C.F. "Gorillas in our midst: Sustained inattentional blindness for dynamic events," *Perception* 28:1059–1074 (1999).

Simons, D.J. and Levin, D.T. "Change blindness," *Trends Cogn. Sci.* 1:261–267 (1997).

Simons, D.J. and Levin, D.T. "Failure to detect changes to people during a real-world interaction," *Psychonomic Bull. & Rev.* 5:644–649 (1998).

Simpson, J. *Touching the Void*. New York: HarperPerennial (1988).

Singer, W. "Neuronal synchrony: A versatile code for the definition of relations?" *Neuron* 24:49–65 (1999).

Skoyles, J.R. "Another variety of vision," *Trends Neurosci.* 20:22–23 (1997).

Slimko, E.M., McKinney, S., Anderson, D.J., Davidson, N., and Lester, H.A. "Selective electrical silencing of mammalian neurons in vitro by the use of invertebrate ligand-gated chloride channels," *J. Neurosci.* 22:7373–7379 (2002).

Smith, S. "Utrocular, or 'which eye' discrimination," *J. Exp. Psychology* 35:1–14 (1945).

Snyder, L.H., Batista, A.P., and Andersen, R.A. "Intention-related activity in the posterior parietal cortex: A review," *Vis. Res.* 40:1433–1441 (2000).

Sobel, E.S. and Tank, D.W. "In vivo Ca^{2+} dynamics in a cricket auditory neuron: An example of chemical computation," *Science* 263:823–826 (1994).

Sobel, N., Prabhakaran, V., Hartely, C.A., Desmond, J.E., Glover, G.H., Sullivan, E.V., and Gabrieli, D.E. "Blindsmell: Brain activation induced by an undetected air-borne chemical," *Brain* 122:209–217 (1999).

Softky, W.R. "Simple codes versus efficient codes," *Curr. Opinion Neurobiol.* 5:239–247 (1995).

Solms, M. *The Neuropsychology of Dreams*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum (1997).

Somers, D.C., Dale, A.M., Seiffert, A.E., and Tootell, R.B. "Functional MRI reveals spatially specific attentional modulation in human primary visual cortex," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96:1663–1668 (1999).

Sperling, G. "The information available in brief presentation," *Psychological Monographs* 74. Whole No. 498 (1960).

Sperling, G. and Dosher, B. "Strategy and optimization in human information processing." In: *Handbook of Perception and Performance* Vol. 1. Boff, K., Kaufman, L., and Thomas, J., eds., pp. 1–65. New York: Wiley (1986).

Sperling, G. and Weichselgartner, E. "Episodic theory of the dynamics of spatial attention," *Psych. Rev.* 102:503–532 (1995).

Sperry, R.W. "Cerebral organization and behavior," *Science* 133:1749–1757 (1961).

Sperry, R.W. "Lateral specialization in the surgically separated hemispheres." In: *Neuroscience 3rd Study Program*. Schmitt, F.O. and Worden, F.G., eds. Cambridge, MA: MIT Press (1974).

Spinelli, D.W., Pribram, K.H., and Weingarten, M. "Centrifugal optic nerve responses evoked by auditory and somatic stimulation," *Exp. Neurol.* 12:303–318 (1965).

Sprague, J.M. "Interaction of cortex and superior colliculus in mediation of visually guided behavior in the cat," *Science* 153:1544–1547 (1966).

Squire, L.R. and Kandel, E.R. *Memory: From Mind to Molecules.* New York: Scientific American Library, Freeman (1999).

Standing, L. "Learning 10,000 pictures," *Quart. J. Exp. Psychol.* 25:207–222 (1973).

Stapledon, O. *Star Maker.* New York: Dover Publications (1937).

Steinmetz, P.N., Roy, A., Fitzgerald, P.J., Hsiao, S.S., Johnson, K.O., and Niebur, E. "Attention modulates synchronized neuronal firing in primary somatosensory cortex," *Nature* 404:187–190 (2000).

Steriade, M. and McCarley, R.W. *Brainstem Control of Wakefullness and Sleep.* New York: Plenum Press (1990).

Stern, K. and McClintock, M.K. "Regulation of ovulation by human pheromones," *Nature* 392:177–179 (1998).

Sternberg, E.M. "Piercing together a puzzling world: Memento," *Science* 292:1661–1662 (2001).

Sternberg, S. "High-speed scanning in human memory," *Science* 153:652–654 (1966).

Stevens, C.F. "Neuronal diversity: Too many cell types for comfort?" *Curr. Biol.* 8:R708–R710 (1998).

Stevens, R. "Western phenomenological approaches to the study of conscious experience and their implications." In: *Methodologies for the Study of Consciousness: A New Synthesis.* Richardson, J. and Velmans, M., eds., pp. 100–123. Kalamazoo, MI: Fetzer Institute (1997).

Stoerig, P. and Barth, E. "Low-level phenomenal vision despite unilateral destruction of primary visual cortex," *Consc. & Cognition* 10:574–587 (2001).

Stoerig, P., Zontanou, A., and Cowey, A. "Aware or unaware: Assessment of cortical blindness in four men and a monkey," *Cerebral Cortex* 12:565–574 (2002).

Stopfer, M., Bhagavan, S., Smith, B.H., and Laurent, G. "Impaired odour discrimination on desynchronization of odour-encoding neural assemblies," *Nature* 390:70–74 (1997).

Stowers, L., Holy, T.E., Meister, M., Dulac, C., and Koentges, G. "Loss of sex discrimination and male-male aggression in mice deficient for TRP2," *Science* 295:1493–1500 (2002).

Strayer, D.L. and Johnston, W.A. "Driven to distraction: Dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular phone," *Psychol. Sci.* 12:462–466 (2001).

Stroud, J.M. "The fine structure of psychological time." In: *Information Theory in Psychology.* Quastler, H., ed., pp. 174–205. Glencoe, IL: Free Press (1956).

Strawson, G. *Mental Reality.* Cambridge, MA: MIT Press (1996).

Supèr, H., Spekreijse, H., and Lamme, V.A.F. "Two distinct modes of sensory processing observed in monkey primary visual cortex," *Nature Neurosci.* 4:304–310 (2001).

Swick, D. and Knight, R.T. "Cortical lesions and attention." In: *The Attentive Brain.* Parasurama R., ed., pp. 143–161. Cambridge, MA: MIT Press (1998).

Swindale, N.V. "How many maps are there in visual cortex," *Cerebral Cortex* 10:633–643 (2000).

Tallal, P., Merzenich, M., Miller, S., and Jenkins, W. "Language learning impairment: Integrating basic science, technology and remediation," *Exp. Brain Res.* 123:210–219 (1998).

Tallon-Baudry, C. and Bertrand, O. "Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation," *Trends Cogn. Sci.* 3:151–161 (1999).

Tamura, H. and Tanaka, K. "Visual response properties of cells in the ventral and dorsal parts of the macque inferotemporal cortex," *Cerebral Cortex* 11:384–399 (2001).

Tanaka, K. "Inferotemporal cortex and object vision," *Ann. Rev. Neurosci.* 19:109–139 (1996).

Tanaka, K. "Columnar organization in the inferotemporal cortex." In: *Cerebral Cortex. Vol. 12.* Rockland, K.S., Kaas, J.H., and Peters, A., eds., pp. 469–498. New York: Plenum Press (1997).

Tanaka, K. "Columns for complex visual object features in the inferotemporal cortex: Clustering of cells with similar but slightly different stimulus selectivities," *Cerebral Cortex* 13:90–99 (2003).

Tang, S. and Guo, A. "Choice behavior of Drosophila facing contradictory visual cues," *Science* 294:1543–1547 (2001).

Tang, Y.-P., Shimizu, E., Dube, G.R., Rampon, C., Kerchner, G.A., Zhuo, M., Liu, G., and Tsien, J.Z. "Genetic enhancement of learning and memory in mice," *Nature* 401:63–69 (1999).

Taylor, J.G. *The Race for Consciousness.* Cambridge, UK: MIT Press (1998).

Taylor, J.L. and McCloskey, D.I. "Triggering of preprogrammed movements as reactions to masked stimuli," *J. Neurophysiol.* 63:439–444 (1990).

Teller, D.Y. "Linking propositions," *Vision Res.* 24:1233–1246 (1984).

Teller, D.Y. and Pugh, E.N. Jr. "Linking propositions in color vision." In: *Color Vision: Physiology and Psychophysics.* Mollon, J.D. and Sharpe, L.T., eds., London: Academic Press (1983).

Thiele, A., Henning, P., Kubschik, M., and Hoffmann, K.-P. "Neural mechanisms of saccadic suppression," *Science* 295:2460–2462 (2002).

Thiele, A. and Stoner, G. "Neuronal synchrony does not correlate with motion coherence in cortical area MT," *Nature* 23:366–370 (2003).

Thier P., Haarmeier, T., Treue, S., and Barash, S. "Absence of a common functional denominator of visual disturbance in cerebellar disease," *Brain* 122:2133–2146 (1999).

Thomas, O.M., Cumming, B.G., and Parker, A.J. "A specialization for relative disparity in V2," *Nature Neurosci.* 5:472–478 (2002).

Thompson, K.G. and Schall, J.D. "The detection of visual signals by macaque frontal eye field during masking," *Nature Neurosci.* 2:283–288 (1999).

Thompson, K.G., and Schall, J.D. "Antecedents and correlates of visual detection and awareness in macaque prefrontal cortex," *Vision Res.* 40:1523–1538 (2000).

Thorpe, S., Fize, D., and Marlot, C. "Speed of processing in the human visual system," *Nature* 381:520–522 (1996).

Tolias, A.S., Smirnakis, S.M., Augath, M.A., Trinath, T., and Logothetis, N.K. "Motion processing in the macaque: Revisited with functional magnetic resonance imaging," *J. Neurosci.* 21:8594–8601 (2001).

Tomita, H., Ohbayashi, M., Nakahara, K., Hasegawa, I., and Miyashita, Y. "Top-down signal from prefrontal cortex in executive control of memory retrieval," *Nature* 401:699–703 (1999).

Tong, F. and Engel, S.A. "Interocular rivalry revealed in the human cortical blind-spot representation," *Nature* 411:195–199 (2001).

Tong, F., Nakayama, K., Vaughan, J.T., and Kanwisher, N. "Binocular rivalry and visual awareness in human extrastriate cortex," *Neuron* 21:753–759 (1998).

Tong, F., Nakayama, K., Moscovitch, M., Weinrib, O., and Kanwisher, N. "Response properties of the human fusiform face area," *Cogn. Neuropsychol.* 17:257–279 (2000).

Tononi, G. and Edelman, G.M. "Consciousness and complexity," *Science* 282:1846–1851 (1998).

Tootell, R.B. and Hadjikhani, N. "Where is 'dorsal V4' in human visual cortex? Retinotopic, topographic, and functional evidence," *Cerebral Cortex* 11:298–311 (2001).

Tootell, R.B., Hadjikhani, N., Mendola, J.D., Marrett, S., and Dale, A.M. "From retinotopy to recognition: Functional MRI in human visual cortex," *Trends Cogn. Sci.* 2:174–183 (1998).

Tootell, R.B., Mendola, J.D., Hadjikhani, N., Ledden, P.J., Liu, A.K., Reppas, J.B., Sereno, M.I., and Dale, A.M. "Functional analysis of V3A and related areas in human visual cortex," *J. Neurosci.* 17:7060–7078 (1997).

Tootell, R.B., Reppas, J.B., Dale, A.M., Look, R.B., Sereno, M.I., Malach, R., Brady, T.J., and Rosen, B.R. "Visual motion aftereffect in human cortical area MT revealed by functional magnetic resonance imaging," *Nature* 375:139–141 (1995).

Tootell, R.B. and Taylor, J.B. "Anatomical evidence for MT and additional cortical visual areas in humans," *Cerebral Cortex* 5:39–55 (1995).

Tranel, D. and Damasio, A.R. "Knowledge without awareness: An autonomic index of facial recognition by prosopagnosics," *Science* 228:1453–1454 (1985).

Treisman, A. "Features and Objects: The Fourteenth Bartlett Memorial Lecture," *Quart. J. Exp. Psychology* 40A:201–237 (1988).

Treisman, A. "The binding problem," *Curr. Opinion Neurobiol.* 6:171–178 (1996).

Treisman, A. "Feature binding, attention and object perception," *Proc. R. Soc. Lond. B* 353:1295–1306 (1998).

Treisman, A. and Gelade, G. "A feature-integration theory of attention," *Cogn. Psychol.* 12:97–136 (1980).

Treisman, A. and Schmidt, H. "Illusory conjunctions in the perception of objects," *Cogn. Psychol.* 14:107–141 (1982).

Treue, S. and Martinez-Trujillo, J.C. "Feature-based attention influences motion processing gain in macaque visual cortex," *Nature* 399:575–578 (1999).

Treue, S. and Maunsell, J.H.R. "Attentional modulation of visual motion processing in cortical areas MT and MST," *Nature* 382:539–541 (1996).

Tsal, Y. "Do illusory conjunctions support feature integration theory? A critical review of theory and findings," *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 15:394–400 (1989).

Tsotsos, J.K. "Analyzing vision at the complexity level," *Behav.Brain Sci.* 13:423–469 (1990).

Tsunoda, K., Yamane, Y., Nishizaki, M., and Tanifuji, M. "Complex objects represented in macaque inferotemporal cortex by the combination of feature columns," *Nature Neurosci.* 4:832–838 (2001).

Tully, T. "Toward a molecular biology of memory: The light's coming on!," *Nature Neurosci.* 1:543–545 (1998).

Tully, T. and Quinn, W.G. "Classical conditioning and retention in normal and mutant Drosophila melanogaster," *J. Comp. Physiol. A* 157:263–277 (1985).

Tulunay-Keesey, Ü. "Fading of stabilized retina images," *J. Opt. Soc. Am.* 72:440–447 (1982).

Tulving, E. "Memory and consciousness," *Canadian Psychology* 26:1–26 (1985).

Tulving, E. "Varieties of consciousness and levels of awareness in memory." In: *Attention: Selection, Awareness and Control. A Tribute to Donald Broadbent.* Baddeley, A. and Weiskrantz, L., eds., pp. 283–299. Oxford, UK: Oxford University Press (1993).

Turing, A. "Computing machinery and intelligence," *Mind* 59:433–460 (1950).

Ullman, S. "Visual routines," *Cognition* 18:97–159 (1984).

Ungerleider, L.G. and Mishkin, M. "Two cortical visual systems." In: *Analysis of Visual Behavior.* Ingle, D.J., Goodale, M.A., and Mansfield, R.J.W., eds., pp. 549–586. Cambridge, MA: MIT Press (1982).

Vallar, G. and Shallice, T., eds. *Neuropsychological Impairments of Short-Term Memory.* Cambridge, UK: Cambridge University Press (1990).

Vanduffel, W., Fize, D., Peuskens, H., Denys, K., Sunaert, S., Todd, J.T., and Orban, G.A. "Extracting 3D from motion: Differences in human and monkey intraparietal cortex," *Science* 298:413–415 (2002).

Van Essen, D.C. and Gallant, J.L. "Neural mechanisms of form and motion processing in the primate visual system," *Neuron* 13:1–10 (1994).

Van Essen, D.C., Lewis, J.W., Drury, H.A., Hadjikhani, N., Tootell, R.B., Bakircioglu, M., and Miller, M.I. "Mapping visual cortex in monkeys and humans using surface-based atlases," *Vision Res.* 41:1359–1378 (2001).

VanRullen, R. and Koch, C. "Competition and selection during visual processing of natural scenes and objects," *J. Vision* 3:75–85 (2003a).

VanRullen, R. and Koch, C. "Visual selective behavior can be triggered by a feed-forward process," *J. Cogn. Neurosci.* 15:209–217 (2003b).

VanRullen, R. and Koch, C. "Is perception discrete or continuous?" *Trends Cogn. Sci.* 7:207–213 (2003c).

VanRullen, R., Reddy L., and Koch, C. "Parallel and preattentive processing are not equivalent," *J. Cogn. Neurosci.*, in press (2004).

VanRullen, R. and Thorpe, S. "The time course of visual processing: From early perception to decision making," *J. Cogn. Neurosci.* 13:454–461 (2001).

van Swinderen, B. and Greenspan, R.J. "Salience modulates 20–30 Hz brain activity in *Drosophila*," *Nature Neurosci.* 6:579–586 (2003).

Varela, F. "Neurophenomenology: A methodological remedy to the hard problem," *J. Consc. Studies* 3:330–350 (1996).

Varela, F., Lachaux, J.-P., Rodriguez, E., and Martinerie, J. "The brainweb: Phase synchronization and large-scale integration," *Nature Rev. Neurosci.* 2:229–239 (2001).

Velmans, M. "Is human information processing conscious?" *Behav. Brain Sci.* 14:651–726 (1991).

Venables, P.H. "Periodicity in reaction time," *Br. J. Psychol.* 51:37–43 (1960).

Vgontzas, A.N. and Kales, A. "Sleep and its disorders," *Ann. Rev. Med.* 50:387–400 (1999).

Vogeley, K. "Hallucinations emerge from an imbalance of self-monitoring and reality modeling," *Monist* 82:626–644 (1999).

Volkmann, F.C., Riggs, L.A., and Moore, R.K. "Eyeblinks and visual suppression," *Science* 207:900–902 (1980).

von der Heydt, R., Peterhans, E., and Baumgartner, G. "Illusory contours and cortical neuron responses," *Science* 224:1260–1262 (1984).

von der Heydt, R., Zhou, H., and Friedman, H.S. "Representation of stereoscopic edges in monkey visual cortex," *Vision Res.* 40:1955–1967 (2000).

von der Malsburg, C. "The correlation theory of brain function." MPI Biophysical Chemistry, Internal Report 81–2 (1981). Reprinted in *Models of Neural Networks II*, Domany, E., van Hemmen, J.L., and Schulten, K., eds. Berlin: Springer (1994).

von der Malsburg, C. "Binding in models of perception and brain function," *Curr. Opin. Neurobiol.* 5:520–526 (1995).

von der Malsburg, C. "The what and why of binding: The modeler's perspective," *Neuron* 24:95–104 (1999).

von Economo, C. and Koskinas, G.N. *Die Cytoarchitektonik der Hirnrinde des erwachsenen Menschen*. Wien, Austria: Julius Springer (1925).

von Helmholtz, H. *Handbook of Physiological Optics*. New York: Dover. (1962). Translation of *Handbuch der physiologischen Optik*. 3 volumes, ed. and trans. by Southall, J.P.C., Hamburg, Voss, 1856, 1860, and 1988.

Von Senden, M. *Space and Sight: The Perception of Space and Shape in the Congenitally Blind Before and After Operation*. Glencoe, IL: Free Press (1960).

Vuilleumier, P., Armony, J.L., Clarke, K., Husain, M., Driver, J., and Dolan, R.J. "Neural response to emotional faces with and without awareness: Event-related fMRI in a parietal patient with visual extinction and spatial neglect," *Neuropsychologia* 40:156–166 (2002).

Vuilleumier, P., Armony, J.L., Driver, J., and Dolan, R.J. "Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: An event-related fMRI study," *Neuron* 30:829–841 (2001).

Vuilleumier, P., Hester, D., Assal, G., and Regli, F. "Unilateral spatial neglect recovery after sequential strokes," *Neurol.* 46:184–189 (1996).

Wachtler, T., Sejnowski, T.J., and Albright, T.D. "Representation of color stimuli in awake macaque primary visual cortex," *Neuron* 37:681–691 (2003).

Wada, Y. and Yamamoto, T. "Selective impairment of facial recognition due to a haematoma restricted to the right fusiform and lateral occipital region," *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 71:254–257 (2001).

Wade, A.R., Brewer, A.A., Rieger, J.W., and Wandell, B.A. "Functional measurements of human ventral occipital cortex: Retinotopy and colour," *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 357:963–973 (2002).

Walther, D., Itti, L., Riesenhuber, M., Poggio, T., and Koch, C. "Attentional selection for object recognition—A gentle way." In: *Biologically Motivated Computer Vision.* Bülthoff, H.H., Lee, S.-W., Poggio, T., and Wallraven, C., eds., pp. 472–479. Berlin: Springer (2002).

Wandell, B.A. *Foundations of Vision.* Sunderland, MA: Sinauer (1995).

Wang, G., Tanaka, K., and Tanifuji, M. "Optical imaging of functional organization in the monkey inferotemporal cortex," *Science* 272:1665–1668 (1996).

Warland, D.K., Reinagel, P., and Meister, M. "Decoding visual information from a population of retinal ganglion cells," *J. Neurophysiol.* 78:2336–2350 (1997).

Watanabe, T., Harner, A.M., Miyauchi, S., Sasaki, Y., Nielsen, M., Palomo, D., and Mukai, I. "Task-dependent influences of attention on the activation of human primary visual cortex," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95:11489–11492 (1998).

Watanabe, M. and Rodieck, R.W. "Parasol and midget ganglion cells of the primate retina," *J. Comp. Neurol.* 289:434–454 (1989).

Watkins, J.C. and Collingridge, G.L., eds. *The NMDA Receptor.* Oxford, UK: IRL Press (1989).

Watson, L. *Jacobson's Organ and the Remarkable Nature of Smell.* New York: Plume Books (2001).

Webster, M.J., Bachevalier, J., and Ungerleider, L.G. "Connections of inferior temporal areas TEO and TE with parietal and frontal cortex in macaque monkeys," *Cerebral Cortex* 4:470–483 (1994).

Wegner, D.M. *The Illusion of Conscious Will.* Cambridge, MA: MIT Press (2002).

Weiskrantz, L. "Blindsight revisited," *Curr. Opinion Neurobiol.* 6:215–220 (1996).

Weiskrantz, L. *Consciousness Lost and Found.* Oxford, UK: Oxford University Press (1997).

Weller, L., Weller, A., Koresh-Kamin, H., and Ben-Shoshan, R. "Menstrual synchrony in a sample of working women," *Psychoneuroendocrinology* 24:449–459 (1999).

Wen, J., Koch, C., and Braun, J. "Spatial vision thresholds in the near absence of attention," *Vision Res.* 37:2409–2418 (1997).

Wertheimer, M. "Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung," *Z. Psychologie* 61:161–265 (1912).

Wessinger, C.M., Fendrich, R., and Gazzaniga, M.S. "Islands of residual vision in hemianopic patients," *J. Cogn. Neurosci.* 9:203–211 (1997).

Westheimer, G. and McKee, S.P. "Perception of temporal order in adjacent visual stimuli," *Vision Res.* 17:887–892 (1977).

Whinnery, J.E. and Whinnery, A.M. "Acceleration-induced loss of consciousness," *Archive Neurol.* 47:764–776 (1990).

White, C. "Temporal numerosity and the psychological unit of duration," *Psychol. Monographs: General & Appl.* 77:1–37 (1963).

White, C. and Harter, M.R. "Intermittency in reaction time and perception, and evoked response correlates of image quality," *Acta Psychol.* 30:368–377 (1969).

White, E.L. *Cortical Circuits*. Boston: Birkhäuser (1989).

Wigan, A.L. "Duality of the mind, proved by the structure, functions, and diseases of the brain," *Lancet 1*:39–41 (1844).

Wilken, P.C. "Capacity limits for the detection and identification of change: Implications for models of visual short-term memory." Ph.D. Thesis. University of Melbourne, Australia (2001).

Wilkins, A.J., Shallice, T., and McCarthy, R. "Frontal lesions and sustained attention," *Neuropsychologia* 25:359–65 (1987).

Williams, D.R., MacLeod, D.E.A., and Hayhoe, M.M. "Foveal tritanopia," *Vision Res.* 21:1341–1356 (1981).

Williams, D.R., Sekiguchi, N., Haake, W., Brainard, D., and Packer, O. "The cost of trichromacy for spatial vision." In: *Pigments to Perception*. Lee, B. and Valberg, A., eds., pp. 11–22. New York: Plenum Press (1991).

Williams, S.R. and Stuart, G.J. "Dependence of EPSP efficacy on synapse location in neocortical pyramidal neurons," *Science* 295:1907–1910 (2002).

Williams, S.R. and Stuart, G.J. "Role of dendritic synapse location in the control of action potential output," *Trends Neurosci.* 26:147–154 (2003).

Williams, T. *The Milk Train Doesn't Stop Here Anymore*. Norfolk, CT: A New Directions Book (1964).

Williams, Z.M., Elfar, J.C., Eskandar, E.N., Toth, L.J., and Assad, J.A. "Parietal activity and the perceived direction of ambiguous apparent motion," *Nature Neurosci.* 6:616–623 (2003).

Wilson, B.A. and Wearing, D. "Prisoner of consciousness: A state of just awakening following Herpes Simplex Encephalitis." In: *Broken Memories: Neuropsychological Case Studies*. Campbell, R. and Conway, M., eds., pp. 15–30. Oxford, UK: Blackwell (1995).

Wilson, H.R., Levi, D., Maffei, L., Rovamo, J., and DeValois, R. "The Perception of Form: Retina to Striate Cortex." In: *Visual Perception: The Neurophysiological Foundations*. Spillman, L. and Werner, J.S., eds., pp. 231–272. San Diego, CA: Academic Press (1990).

Wilson, M.A. and McNaughton, B.L. "Dynamics of the hippocampal ensemble code for space," *Science* 261:1055–1058 (1993).

Wittenberg, G.M. and Tsien, J.Z. "An emerging molecular and cellular framework for memory processing by the hippocampus," *Trends Neurosci.* 25:501–505 (2002).

Wojciulik, E. and Kanwisher, N. "Implicit but not explicit feature binding in a Balint's patient," *Visual Cognition* 5:157–181 (1998).

Wolfe, J.M. "Reversing ocular dominance and suppression in a single flash," *Vision Res.* 24:471–478 (1984).

Wolfe, J.M. "'Effortless' texture segmentation and 'parallel' visual search are not the same thing," *Vision Res.* 32:757–763 (1992).

Wolfe, J.M. "Guided search 2.0: A revised model of visual search," *Psychon. Bull. Rev.* 1:202–238 (1994).

Wolfe, J.M. "Visual Search." In: *The Psychology of Attention*. Pashler, H., ed., pp. 13–73. Cambridge, MA: MIT Press (1998a).

Wolfe, J.M. "Visual Memory: What do you know about what you saw?" *Curr. Biol.* 8:R303–R304 (1998b).

Wolfe, J.M. "Inattentional amnesia." In: *Fleeting Memories.* Coltheart, V., ed., pp. 71–94. Cambridge, MA: MIT Press (1999).

Wolfe, J.M. and Bennett, S.C. "Preattentive object files: Shapeless bundles of basic features," *Vision Res.* 37:25–44 (1997).

Wolfe, J.M. and Cave, K.R. "The psychophysical evidence for a binding problem in human vision," *Neuron* 24:11–17 (1999).

Wong, E. and Mack, A. "Saccadic programming and perceived location," *Acta Psychologica* 48:123–131 (1981).

Wong-Riley, M.T.T. "Primate visual cortex: Dynamic metabolic organization and plasticity revealed by cytochrome oxidase." In: *Cerebral Cortex. Vol. 10.* Peters, A. and Rockland, K.S., eds., pp. 141–200. New York: Plenum Press (1994).

Woolf, N.J. "Cholinergic transmission: Novel signal transduction." In: *Neurochemistry of Consciousness.* Perry, E., Ashton, H., and Young, A., eds., pp. 25–41. Amsterdam: John Benjamins (2002).

Wu, M.-F., Gulyani, S.A., Yau, E., Mignot, E., Phan, B., and Siegel, J.M. "Locus coeruleus neurons: Cessation of activity during cataplexy," *Neurosci.* 91:1389–1399 (1999).

Wurtz, R.H., Goldberg, M.E., and Robinson, D.L. "Brain mechanisms of visual attention," *Sci. Am.* 246:124–135 (1982).

Yabuta, N.H., Sawatari, A., and Callaway, E.M. "Two functional channels from primary visual cortex to dorsal visual cortical areas," *Science* 292:297–300 (2001).

Yamagishi, N., Anderson, S.J., and Ashida H. "Evidence for dissociation between the perceptual and visuomotor systems in humans," *Proc. R. Soc. Lond. B* 268:973–977 (2001).

Yamamoto, M., Wada, N., Kitabatake, Y., Watanabe, D., Anzai, M., Yokoyama, M., Teranishi, Y., and Nakanishi, S. "Reversible suppression of glutamatergic neurotransmission of cerebellar granule cells *in vivo* by genetically manipulated expression of tetanus neurotoxin light chain," *J. Neurosci.* 23:6759–6767 (2003).

Yang, Y., Rose, D., and Blake, R. "On the variety of percepts associated with dichoptic viewing of dissimilar monocular stimuli," *Perception* 21:47–62 (1992).

Young, M.P. "Connectional organisation and function in the macaque cerebral cortex. In: *Cortical Areas: Unity and Diversity*, Schüz, A. and Miller, R., eds., pp. 351–375. London: Taylor and Francis (2002).

Young, M.P. and Yamane, S. "Sparse population coding of faces in the inferotemporal cortex," *Science* 256:1327–1331 (1992).

Yund, E.W., Morgan, H., and Efron, R. "The micropattern effect and visible persistence," *Perception & Psychophysics* 34:209–213 (1983).

Zafonte, R.D. and Zasler, N.D. "The minimally conscious state: Definition and diagnostic criteria," *Neurology* 58:349–353 (2002).

Zeki, S. "Color coding in rhesus monkey prestriate cortex," *Brain Res.* 27:422–427 (1973).

Zeki, S. "Functional organization of a visual area in the posterior bank of the superior temporal sulcus of the rhesus monkey," *J. Physiol.* 236:549–573 (1974).

Zeki, S."Colour coding in the cerebral cortex: The responses of wavelength-selective and color-coded cells in monkey visual cortex to changes in wavelength composition," *Neurosci.* 9:767–781 (1983).

Zeki, S. "A century of cerebral achromatopsia," *Brain* 113:1721–1777 (1990).

Zeki, S. "Cerebral akinetopsia (Visual motion blindness)," *Brain* 114:811–824 (1991).

Zeki, S. *A Vision of the Brain*. Oxford, UK: Oxford University Press (1993).

Zeki, S. "The motion vision of the blind," *Neuroimage* 2:231–235 (1995).

Zeki, S. "Parallel processing, asynchronous perception, and a distributed system of consciousness in vision," *Neuroscientist* 4:365–372 (1998).

Zeki, S. "Localization and globalization in conscious vision," *Ann. Rev. Neurosci.* 24:57–86 (2001).

Zeki, S. "Improbable areas in the visual brain," *Trends Neurosci.* 26:23–26 (2003).

Zeki, S. and Bartels, A. "Toward a theory of visual consciousness," *Consc. & Cognition* 8:225–259 (1999).

Zeki, S., McKeefry, D.J., Bartels, A., and Frackowiak, R.S.J. "Has a new color area been discovered?" *Nature Neurosci.* 1:335–336 (1998).

Zeki, S. and Moutoussis, K. "Temporal hierarchy of the visual perceptive systems in the Mondrian world," *Proc. R. Soc. Lond. B* 264:1415–1419 (1997).

Zeki, S. and Shipp, S. "The functional logic of cortical connections," *Nature* 335:311–317 (1988).

Zeki, S., Watson, J.D., Lueck, C.J., Friston, K.J., Kennard, C., and Frackowiak, R.S.J. "A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex," *J. Neurosci.* 11:641–649 (1991).

Zeki, S., Watson, J.D., and Frackowiak, R.S.J. "Going beyond the information given: The relation of illusory motion to brain activity," *Proc. Roy. Soc. Lond. B* 252:215–222 (1993).

Zeman, A. "Consciousness," *Brain* 124:1263–1289 (2001).

Zhang, K., Ginzburg, I., McNaughton, B.L., and Sejnowski, T.J. "Interpreting neuronal population activity by reconstruction: Unified framework with application to hippocampal place cells," *J. Neurophysiol.* **79**:1017–1044 (1998).

Zihl J., von Cramon, D., and Mai, N. "Selective disturbance of movement vision after bilateral brain-damage," *Brain* **106**:313–340 (1983).

Zipser, D. and Andersen, R.A. "A back-propagation programmed network that simulates response properties of a subset of posterior parietal neurons," *Nature* **331**:679–684 (1988).

Zrenner, E. *Neurophysiological Aspects of Color Vision in Primates: Comparative Studies on Simian Retinal Ganglion Cells and the Human Visual System*. Berlin: Springer (1983).

المؤلف فى سطور

كريستوف كوتش Christof Koch

عالم أمريكى من أبوين ألمانيين، متخصص فى علم الأعصاب، وُلِد سنة ١٩٥٦ فى مدينة كنساس، فى وسط الغرب الأمريكى. ترعرع بين هولندا وألمانيا وكندا والمغرب، حيث تخرج فى الليسية ديكارت فى عام ١٩٧٤. درس الفيزياء والفلسفة فى جامعة توبينجن فى ألمانيا حيث حصل على دكتوراه الفلسفة فى الفيزياء الحيوية سنة ١٩٨٢. يعمل بشكل أساسى على الأساس العصبى للوعى، وهو الموضوع الذى يدور حوله هذا الكتاب. يعمل أستاذًا للبيولوجيا المعرفية والسلوكية فى معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا منذ عام ١٩٨٦. نشر أكثر من ٣٠٠ بحث علمى ومقالات صحفية وعدة كتب، ومن أهم أعماله، إضافة إلى هذا الكتاب، كتاب:

Biophysics of Computation: Information Processing in Single Neurons, Oxford U. Press, (1999).

المترجم فى سطور

الشاعر عبد المقصود عبد الكريم

- من مواليد قرية "طنامل" بمحافظة الدقهلية، أول يونيو ١٩٥٦
- استشارى الطب النفسى والأعصاب
- من أهم أعماله:

● الشعر:

- أزدحم بالممالك: أصوات، ١٩٨٠
- أزدحم بالممالك (١٩٨٨): الهيئة المصرية العامة للكتاب، ١٩٩٢
- يهبط الحلم بصاحبه: هيئة قصور الثقافة، ١٩٩٣، مكتبة الأسرة، ٢٠٠٧
- للعبد ديار وراحلة: مكتبة الأسرة، ٢٠٠٧
- نسخة زائفة: تحت الطبع

○ الترجمة:

- فنتازيا الغريزة، د. هـ. لورانس: دار الهلال، ١٩٩٣
- الحكمة والجنون والحماقة، ديفيد روبرت لانج: الهيئة المصرية العامة للكتاب، ـ ١٩٩٦
- نظرية الأدب المعاصر وقراءة الشعر، بشبندر: الهيئة المصرية العامة للكتاب، ١٩٩٦. طبعة ثانية، مكتبة الأسرة ٢٠٠٥

- قصر الضحك، زبجنيف: هيئة قصور الثقافة، ١٩٩٧
- جاك لاكان وإغواء التحليل النفسى، مجموعة من المؤلفين، إعداد وترجمة: المجلس الأعلى للثقافة، ١٩٩٩
- الرجل البطىء، كوتسى: الهيئة المصرية العامة للكتاب، سلسلة الجوائز، ٢٠٠٧.
- أسطنبول: المدينة والذكريات، أورهان باموق: الهيئة المصرية العامة للكتاب، سلسلة الجوائز، ٢٠٠٨.
- إليزابيث كستلو، كوتسى: الهيئة المصرية العامة للكتاب، سلسلة الجوائز، ٢٠٠٨.
- العار، كوتسى: الهيئة المصرية العامة للكتاب، سلسلة الجوائز، ٢٠٠٩.
- أنا أورهان والى، مختارات من شعر أورهان والى: سلسلة آفاق عالمية، الهيئة العامة لقصور الثقافة، ٢٠٠٩.
- القصر الزجاجى، أميتاف جوش: المركز القومى للترجمة، ٢٠٠٦.
- فرويد وبروست ولاكان، مالكولم بوى: المركز القومى للترجمة، ٢٠٠٩.
- أفكار شكسبير، أشياء أخرى فى السماء والأرض، ديفيد بِفينجتون: دار آفاق بالتعاون مع المركز القومى للترجمة، ٢٠١٠.
- الجاذبية المميتة، سوزان ليونارد: المركز القومى للترجمة، ٢٠١٠.
- داى، أ. ل. كيندى، سلسلة الجوائز، الهيئة المصرية العامة للكتاب، ٢٠١٠.
- الإعداد والانتحال، جولى ساندرز، المركز القومى للترجمة، ٢٠١٠.
- على ونينو، رواية، قربان سعيد، سلسلة آفاق عالمية، ٢٠١٠.
- فضائح الترجمة، لورانس فينتى، المركز القومى للترجمة، ٢٠١٠.
- القصص الفائزة بجائزة أوه هنرى عام ٢٠٠٧، تحت الطبع، سلسلة الجوائز، الهيئة المصرية العامة للكتاب
- جسد المرأة، كلمة المرأة، فدوى مالطى دوجلاس، تحت الطبع.
- التفرد والنرجسية، ماريو جاكوبى: تحت الطبع.
- فيرونيكا قررت أن تموت، رواية، بابلو كويلهو، تحت الطبع.

- مختارات شعرية، مايا أنجلو، تحت الطبع.

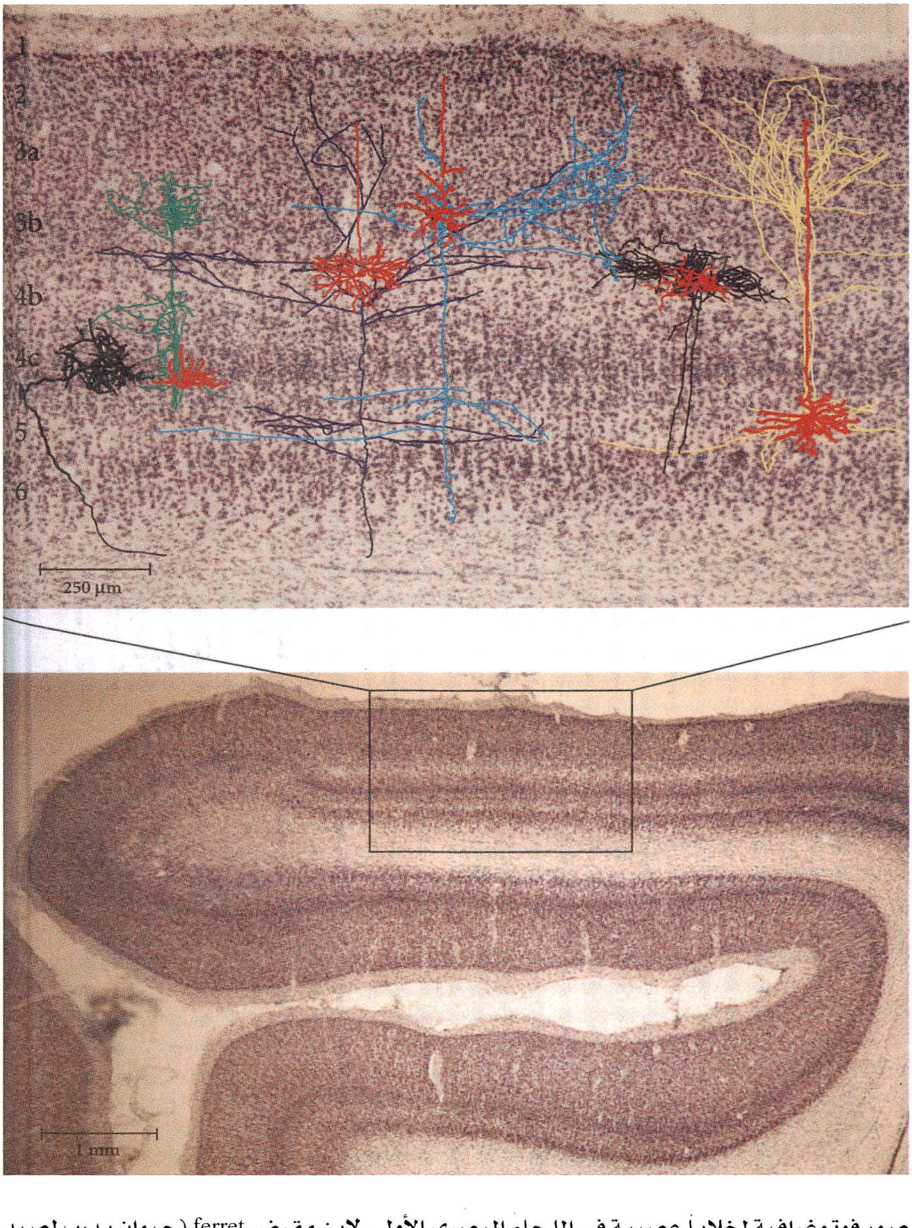
- مختارات من الشعر الأمريكى، ألن جنسبرج وآخرون، تحت الطبع.

● **الدراسة:**

- جماليات الحلم والنسيان: دراسة فى الحلم والشعر، تحت الطبع.

التصحيح اللغوى : إبراهيم عبدالتواب
الإشراف الفنى : حسن كامل

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب



صور فوتوغرافية لخلايا عصبية فى اللحاء البصرى الأولي لابن مقرض ferret (حيوان يدرب لصيد الفئران أو الأرانب - المترجم). كسر صغير فقط من كل الخلايا العصبية، معظمها خلايا هرمية، مصبوغ. خلية نجمية كابحة (إلى اليسار) وخلية عصبية هرمية (إلى اليمين) موضحتان بتكبير هائل. معدلة عن Borrell and Callaway, 2002.